



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

OCELOVÁ KONSTRUKCE HELIPORTU

STEEL STRUCTURE OF A HELIPORT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Pavel Klimeš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL ŠTRBA, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Pavel Klimeš
Název	Ocelová konstrukce heliportu
Vedoucí práce	Ing. Michal Štrba, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2016
Datum odevzdání	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Použity budou platné normy pro stanovení zatížení a navrhování ocelových, resp. spřažených ocelobetonových konstrukcí, zejména:

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- [5] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků
- [7] ČSN EN 1994-1-1 Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V této diplomové práci bude navržena a posouzena ocelová nosná konstrukce samostatně stojícího heliportu v Praze. Celková výška konstrukce je stanovena na cca 20,0 m. Průměr přistávací plochy bude cca 30,0 m. Další rozměry vyplynou z architektonických a koncepčních požadavků na objekt, přičemž konkrétní tvar a geometrie budou vybrány na základě optimalizovaného statického a geometrického řešení. V rámci nosné konstrukce může být rovněž využito spřažení s betonem.

Předepsanými přílohami budou:

- statický výpočet hlavních nosných částí konstrukce, včetně spojů a některých detailů (dle specifikace vedoucího),
- technická zpráva (se zahrnutím postupu montáže),
- výkresová dokumentace v rozsahu stanoveném vedoucím práce (včetně výkazu prvků).

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Michal Štrba, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem a statickým posouzením nosné ocelové konstrukce heliportu s výškou 20 m, která je situována v lokalitě Praha 1 v nemocničním areálu Na Františku. Součástí práce je rovněž technická zpráva a výkresová dokumentace. Práce obsahuje stanovení zatížení heliportu, a jejich implementaci do výpočtového modelu vytvořeného v programu SCIA Engineer 2015.3. Pomocí ručního výpočtu bylo následně provedeno posouzení namáhání vybraných prutů, spojů a kotvení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Heliport, ocelová konstrukce, stabilita, vzpěr, spřažená deska, dynamické účinky

ABSTRACT

The diploma thesis concerns with the design and static analysis of the heliport steel construction, which has the height of 20 m. The heliport is situated in Prague, Na Františku as a part of the hospital. The technical report and drawings are included in the thesis as well. The thesis consists of the determination of the heliport total load (including permanent, live and climate loads) and, its implementation in the SCIA Engineer 2015.3 computer software. The stress analysis of selected rods and, joints was consequently carried out by means of the manual calculation.

KEYWORDS

Heliport, steel construction, stability, buckling, composite deck, dynamic effects

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Pavel Klimeš *Ocelová konstrukce heliportu*. Brno, 2017. 168 s., 45 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Michal Štrba, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 1. 2017

Bc. Pavel Klimeš
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9. 1. 2017

Bc. Pavel Klimeš
autor práce

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce Ing. Michal Štrba, Ph.D.

Autor práce Bc. Pavel Klimeš

Škola Vysoké učení technické v Brně

Fakulta Stavební

Ústav Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

Studijní obor 3608T001 Pozemní stavby

Studijní program N3607 Stavební inženýrství

Název práce Ocelová konstrukce heliportu

**Název práce
v anglickém
jazyce** Steel structure of a heliport

Typ práce Diplomová práce

Přidělovaný titul Ing.

Jazyk práce Čeština

**Datový formát
elektronické
verze** PDF

Abstrakt práce Diplomová práce se zabývá návrhem a statickým posouzením nosné ocelové konstrukce heliportu s výškou 20 m, která je situována v lokalitě Praha 1 v nemocničním areálu Na Františku. Součástí práce je rovněž technická zpráva a výkresová dokumentace. Práce obsahuje stanovení zatížení heliportu, a jejich implementaci do výpočtového modelu vytvořeného v programu SCIA Engineer 2015.3. Pomocí ručního výpočtu bylo následně provedeno posouzení namáhání vybraných prutů, spojů a kotvení.

**Abstrakt práce
v anglickém
jazyce** The diploma thesis concerns with the design and static analysis of the heliport steel construction, which has the height of 20 m. The heliport is situated in Prague, Na Františku as a part of the hospital. The technical report and drawings are included in the thesis as well. The thesis consists of the determination of the heliport total load (including permanent, live and climate loads) and, its implementation in the SCIA Engineer 2015.3 computer software. The stress analysis of

selected rods and, joints was consequently carried out by means of the manual calculation.

Klíčová slova

Heliport, ocelová konstrukce, stabilita, vzpěr, spřažená deska, dynamické účinky

**Klíčová slova
v anglickém
jazyce**

Heliport, steel construction, stability, buckling, composite deck, dynamic effects

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu práce Ing. Michalovi Štrbovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, mnohé tipy, rady a nápady, které pomohly ke zlepšení obsahové stránky této práce.

Poděkování patří také mým rodičům, kteří mě během studia podporovali.

Bc. Pavel Klimeš



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

STATICKÝ VÝPOČET

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Pavel Klimeš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL ŠTRBA, Ph.D.

BRNO 2017

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1: Přehled podpor	22
Tab. 2.1: Návrh a posouzení ohybové únosnosti desky v poli.....	35
Tab. 2.2: Návrh a posouzení ohybové únosnosti desky nad podporou	36
Tab. 2.3: Ekvivalentní příhradové ztužidlo	38
Tab. 3.1: Výpočet veličin pro jednotlivá výšková pásma.....	46
Tab. 3.2: Hmotnost prvků jednotlivých pásem pro stanovení $m(s)$ [kg].....	50
Tab. 3.3: Výpočet ekvivalentní hmotnosti.....	51
Tab. 3.4: Souhrn parametrů pro výpočet součinitele konstrukce $c_s c_d$	52
Tab. 3.5: Výpočet spojitých rovnoměrných zatížení w na jednotlivé pruty	53
Tab. 3.6: Výpočet plošného zatížení pro jednotlivé oblasti platformy heliportu	56
Tab. 3.7: Plošné zatížení od lokálně působící síly.....	60
Tab. 3.8: Výpočet třecí síly	60
Tab. 3.9: Výpočet vnějšího tlaku w na stěny výtahové šachty	61
Tab. 4.1: Součinitelé participace tvaru pro první tři vlastní tvary.....	68
Tab. 4.2: Součinitelé participace tvaru pro 14. a 31. vlastní tvar	70
Tab. 4.3: Závislost dynamického součinitele na frekvenci budící síly	72
Tab. 7.1: Obálkové kombinační skupiny pro provozní stav	83
Tab. 7.2: Lineární kombinace pro montážní stav	84
Tab. 8.1: Největší tlakové síly sloupů a dolních pásů příhradových vazníků	85
Tab. 8.2: Součinitel kritického zatížení.....	87
Tab. 8.3: Vzpěrné délky	88
Tab. 9.1: Redistribuce momentů.....	112
Tab. 9.2: Průřez prutu B107 nad podporou	113

Tab. 9.3: Průřez prutu B108 v poli	114
Tab. 9.4: Průřez prutu B129 nad podporou	118
Tab. 9.5: Průřez prutu B129 v poli	119
Tab. 10.1: Kombinace pro MSP	126
Tab. 11.1: Vnitřní síly a pozice přípoje B.....	135

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Půdorys kotvení	23
Obr. 1.2: Sloupy.....	23
Obr. 1.3: Ztužidla šikmá	24
Obr. 1.4: Ztužidla vodorovná vnější	24
Obr. 1.5: Ztužidla vodorovná vnitřní	25
Obr. 1.6: Ztužení dolního pásu příhradových vazníků	25
Obr. 1.7: Dolní pásy příhradových vazníků	26
Obr. 1.8: Horní pásy příhradových vazníků	26
Obr. 1.9: Ztužení příhradových vazníků	27
Obr. 1.10: Rošt platformy	27
Obr. 1.11: Obvodové nosníky roštu platformy	28
Obr. 1.12: Vaznice ochranné zóny platformy	28
Obr. 1.13: Konzoly ochranné zóny platformy	29
Obr. 1.14: Ztužení ochranné zóny platformy	29
Obr. 1.15: Výtahová šachta a schodiště.....	30
Obr. 1.16: Pohled +X	31
Obr. 1.17: Pohled +Y	31
Obr. 1.18: Pohled -Z	32
Obr. 1.19: Pohled 3D	32
Obr. 2.1: Zatížení na spojitém nosníku o třech polích	34
Obr. 2.2: Průběh ohybových momentů na spojitém nosníku o třech polích	34
Obr. 2.3: Náhrada železobetonové desky příhradovým ztužidlem.....	37
Obr. 2.4: Náhradní příhradové ztužení platformy	39

Obr. 2.5: Spolupůsobící šířka a definice náhradního rozpětí.....	40
Obr. 2.6: Zjednodušené statické schéma platformy heliportu	40
Obr. 2.7: Průběh ohybových momentů na roštu platformy od zatěžovacího stavu 2 ...	40
Obr. 2.8: Ekvivalentní průřez profilu HEA340.....	41
Obr. 3.1: Uvažované směry působení větru	44
Obr. 3.2: Výšková pásma konstrukce.....	45
Obr. 3.3: Stanovení referenční výšky z_s obecných tvarů konstrukcí.....	47
Obr. 3.4: Směr větru X, součinitel plnosti $\varphi = 0,475$	57
Obr. 3.5: Směr větru Y, součinitel plnosti $\varphi = 0,353$	57
Obr. 3.6: Směr větru X, rozdělení platformy na různé oblasti tlaku (sání).....	58
Obr. 3.7: Směr větru Y, rozdělení platformy na různé oblasti tlaku (sání).....	58
Obr. 3.8: Plošné zatížení od lokálně působící síly	59
Obr. 3.9: Výpočet vnějšího tlaku w na stěny výtahové šachty	61
Obr. 3.10: (a) Příklad umístění korelační délky v závislosti na tvaru kmitu	63
Obr. 3.11: Zatěžovací stavy vrtulníku.....	64
Obr. 3.12: Roznos zatížení na jednotlivé nosníky roštu.....	65
Obr. 3.13: (a) Nosná konstrukce výtahu zatížená plošným zatížením	66
Obr. 4.1: Rozdělení hmoty ostatního stálého zatížení	67
Obr. 4.2: 1. vlastní tvar s charakterem kmitání rotace kolem svislé osy, $n_1 = 1,49$ Hz .	68
Obr. 4.3: 2. vlastní tvar s charakterem posunutí ve směru y, $n_2 = 1,68$ Hz	69
Obr. 4.4: 3. vlastní tvar s charakterem posunutí ve směru x, $n_3 = 1,70$ Hz	69
Obr. 4.5: 14. vlastní tvar s charakterem posunutí ve směru z, $n_{14} = 3,54$ Hz	70
Obr. 4.6: 31. vlastní tvar s charakterem posunutí ve směru z, $n_{31} = 5,74$ Hz	71
Obr. 5.1: Ekvivalentní vodorovné síly od účinku naklonění	74
Obr. 6.1: Zatěžovací stav 1 a 2.....	76

Obr. 6.2: Zatěžovací stav 3 a 4.....	77
Obr. 6.3: Zatěžovací stav 5 a 6.....	78
Obr. 6.4: Zatěžovací stav 7 a 30.....	79
Obr. 6.5: Zatěžovací stav 34 a 38.....	80
Obr. 6.6: Zatěžovací stav 40.....	81
Obr. 8.1: Největší tlakové síly ve sloupech a dolních pásech konzol příhrad. vazníků	86
Obr. 8.2: Ztráta stability prvního kritického součinitele zatížení, $\alpha_{cr1} = 6,38$	87
Obr. 9.1: Posouzené pruty na MSÚ	90
Obr. 9.2: Průřez sloupu B3	91
Obr. 9.3: Průřez šikmého ztužidla B26.....	93
Obr. 9.4: Průřez vodorov. ztužidla B12	95
Obr. 9.5: Průřez vodorov. Ztužidla B52	99
Obr. 9.6: Průřez ztuž. dolního pásu B56	101
Obr. 9.7: Průřez dolního pásu B168.....	103
Obr. 9.8: 1. tvar vybočení ve vodorovném směru.....	105
Obr. 9.9: Průřez ztužení vazníků B173	107
Obr. 9.10: Průběh maximálních ohybových momentů na prutech B107 a B108.....	112
Obr. 9.11: Průřez prutu B107 nad podporou	113
Obr. 9.12: Rozmístění spřahovacích trnů na prutech B107 a B108.....	115
Obr. 9.13: Průběh maximálního ohybového momentu na prutu B129	117
Obr. 9.14: Průřez prutu B129 nad podporou	118
Obr. 9.15: Rozmístění spřahovacích trnů na prutu B129.....	120
Obr. 9.16: Průřez roštu platformy B107.....	121
Obr. 10.1: Průhyby od kombinací STŘ1 a OKR2	127
Obr. 10.2: Průhyby od kombinací OKR3 a OKR4.....	128

Obr. 10.3: Průhyby od kombinací OKR5 a OKR6.....	129
Obr. 11.1: Schéma, vnitřní síly a pozice přípoje A.....	130
Obr. 11.2: Schéma přípoje B	134
Obr. 11.3: Schéma, vnitřní síly a pozice přípoje C	146
Obr. 11.4: Schéma, vnitřní síly a pozice přípoje D	151
Obr. 11.5: Schéma, vnitřní síly a pozice přípoje E.....	156

SEZNAM TABULEK

SEZNAM OBRÁZKŮ

ÚVOD	20
1 GEOMETRIE KONSTRUKCE	21
1.1 Parametry heliportu.....	21
1.2 Použitý software.....	21
1.3 Předpoklad výpočtu.....	22
1.4 Uzly.....	22
1.5 Klouby.....	22
1.6 Prvky.....	22
1.7 Podpory	22
1.8 Typy prutů dle konstrukčního uspořádání.....	23
1.9 Pohledy.....	31
2 ŽELEZOBETONOVÁ DESKA	33
2.1 Návrh železobetonové desky	33
2.2 Ekvivalentní náhrada železobetonové desky.....	37
2.2.1 Vodorovná tuhost.....	37
2.2.2 Ohybová tuhost.....	39
3 ZATÍŽENÍ.....	42
3.1 Zatížení stálé	42
3.1.1 Vlastní tíha	42
3.1.2 Ostatní stálé.....	42
3.2 Zatížení od osob	43
3.3 Zatížení větrem	44
3.3.1 Součinitel konstrukce <i>cscd</i>	47
3.3.2 Výpočet spojitých rovnoměrných zatížení <i>w</i> na jednotlivé pruty	53
3.3.3 Vítr působící na platformu heliportu.....	55

3.3.3.1	Tlak a sání.....	55
3.3.3.2	Lokální zatížení desky	59
3.3.3.3	Třecí síly od větru působící na platformu heliportu.....	60
3.3.4	Výtahová šachta	61
3.3.5	Odtrhávání vírů	62
3.4	Zatížení vrtulníkem.....	64
3.5	Zatížení výtahem	66
4	DYNAMICKÉ VLASTNOSTI KONSTRUKCE	67
4.1	Odezva konstrukce na zatížení od větru	68
4.2	Odezva konstrukce na náraz vrtulníkem	70
5	IMPERFEKCE	73
6	ZATĚŽOVACÍ STAVY	75
7	KOMBINACE MSÚ	82
7.1	Kombinace MSÚ pro provozní stav	82
7.2	Kombinace MSÚ pro montážní stav	84
8	STABILITA A VZPĚRNÉ DÉLKY	85
8.1	Globální analýza	85
8.2	Vzpěrné délky	88
9	POSOUZENÍ VYBRANÝCH PRUTŮ NA MSÚ	90
9.1	Provozní stav - nespřážené pruty.....	91
9.1.1	Sloup B3 (kom. NK B2/2)	91
9.1.2	Ztužidlo šikmé B26 (kom. NK D4/3)	93
9.1.3	Ztužidlo vodorovné vnější B12 (kom. NK B2/2)	95
9.1.4	Ztužidlo vodorovné vnitřní B52 (kom. NK D3/18).....	99
9.1.5	Ztůžení dolního pásu příhradového vazníku B56 (kom. NK B4/2)	101
9.1.6	Dolní pás příhradového vazníku B168 (kom. NK B2/2)	103
9.1.7	Ztůžení příhradových nosníků B173 (kom. NK D2/22).....	107

9.2	Provozní stav - spřažené pruty.....	111
9.2.1	Horní pás příhradového vazníku B65 (kom. NK B4/2).....	111
9.2.2	Rošt platformy B107 a B108 (kom. NK D4/16)	112
9.2.3	Obvodový nosník roštu platformy B129 (kom. NK D4/24)	117
9.3	Montážní stav.....	121
9.3.1	Rošt platformy B107 (kom. MO A/4).....	121
10	POSOUZENÍ KONSTRUKCE NA MSP	126
11	SPOJE.....	130
11.1	Přípoj A.....	130
11.2	Přípoj B.....	134
11.3	Přípoj C.....	146
11.4	Přípoj D.....	151
11.5	Přípoj E.....	156
12	KOTVENÍ.....	161
	ZÁVĚR	165
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	166

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá návrhem ocelové konstrukce vyvýšeného heliportu v Praze 1 v lokalitě areálu nemocnice Na Františku. Heliport lze definovat jako malou letištní plochu používanou helikoptéry převážně k záchranným účelům a transportu pacientů.

Téma diplomové práce si autor zvolil za účelem prohloubení znalostí problematiky navrhování netypických pozemních staveb. Základem práce byl architektonický návrh, ve kterém byl navržen základní tvar konstrukce s ohledem na potřebnou funkci, materiál a vzhled. Dalším krokem byl návrh konstrukčního systému heliportu. Nezbytným krokem bylo stanovení všech zatížení, které na konstrukci působí. Po implementaci zatížení do výpočtového modelu vytvořeného v programu SCIA Engineer 2015.3 bylo provedeno posouzení navržených prutů, spojů a kotvení.

Cílem této práce bylo navrhnout unikátní konstrukci heliportu pro potřeby historického nemocničního areálu malé rozlohy v centru Prahy. Žádné z běžných řešení nebylo z důvodu nevyhovující statiky budovy realizovatelné. Proto byl zvolen návrh samostatně stojící konstrukce s boční výtahovou šachtou. Snahou bylo vyprojektovat jednoduchou, estetickou, subtilní, ekonomickou, bezpečnou a v neposlední řadě provozuschopnou stavbu dle platných evropských norem.

Vypracování diplomové práce zahrnovalo statický výpočet zahrnující dynamickou a stabilitní analýzu s ohledem na spřaženou železobetonovou desku, technickou zprávu a výrobní dokumentaci nosné části konstrukce.

V první kapitole jsou navrženy rozměry, tvar a konstrukční systém heliportu. Cílem druhé kapitoly bylo ve výpočetním modelu zohlednit absenci železobetonové desky z hlediska tuhosti. Kapitola třetí, která je nejrozsáhlejší, obsahuje stanovení zatížení. Bylo uvažováno zatížení vlastní tíhou, ostatní stálé zatížení v podobě železobetonové desky, užité zatížení, zatížení větrem a vrtulníkem. Čtvrtá kapitola vyšetřuje případy, které mohou konstrukci rozkmitat. Kapitola pátá až sedmá se zabývá imperfekcemi, zatěžovacími stavy a sestavením kombinací na mezní stav únosnosti. Obsahem osmé kapitoly je s využitím stabilitní analýzy stanovení kritického násobku zatížení, navýšení účinků zatížení a stanovení vzpěrné délky prutů. Poslední čtyři kapitoly práce jsou věnované posouzení vybraných prutů, průhybů, spojů a kotvení konstrukce.

1 GEOMETRIE KONSTRUKCE

1.1 Parametry heliportu

A) Konstrukční

- *Výška konstrukce:* 19,98 m
- *Železobetonová deska:* 27,50 m x 27,50 m
- *ŽB deska včetně ochranné zóny:* 33,50 m x 33,50 m
- *Rozměry výtahové kabiny:* 3,20 m x 2,00 m
- *Nosnost výtahu:* 1 500 kg
- *Průchozí šířka schodiště:* 1,20 m
- *Nadmořská výška heliportu:* 209,98 m n. m.
- *Materiál:* ocel S355J2G3; beton C30/37, XD1
- *Hmotnost konstrukce (ocel):* 87 274,7 kg
- *Hmotnost konstrukce (beton):* 279 060,0 kg
- *Povrch konstrukce (ocel):* 2067,9 m²

B) Provozní

Heliport vyhovuje provozu vrtulníků o max. parametrech:

- *Průměr rotoru:* 13,95 m
- *Délka vrtulníku:* 16,75 m
- *Hmotnost vrtulníku:* 6400 kg

1.2 Použitý software

- *Scia Engineer 2015.3.120*
- *AutoCAD 2016*
- *MS Office 2013*
- *SolidWorks 2015*

1.3 Předpoklad výpočtu

Heliport je tvořen konstrukcí přistávací platformy se 4 podpěrnými sloupy, která je spojena s konstrukcí výtahové šachty se schodištěm. Statický dokument detailně řeší návrh primárně namáhané konstrukce, kterou je přistávací platforma s podpěrnými sloupy. Heliport je ovšem modelován a zatížen jako celek, čímž je zohledněno statické spolupůsobení a lze tak návrh považovat za korektní. Konstrukce výtahu se schodištěm byla na některých obrázcích z důvodu přehlednosti skryta.

1.4 Uzly

Podrobný výpis všech uzlů konstrukce viz příloha.

1.5 Klouby

Podrobný výpis všech kloubů konstrukce viz příloha.

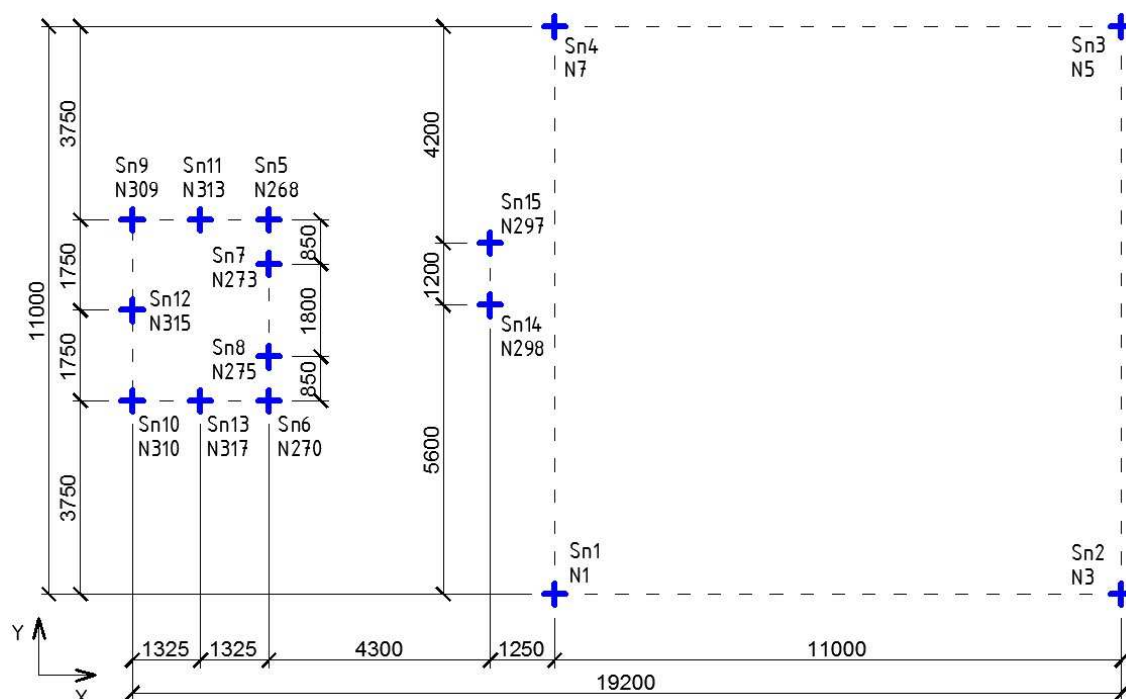
1.6 Prvky

Podrobný výpis všech prvků konstrukce viz příloha.

1.7 Podpory

Tab. 1.1: Přehled podpor

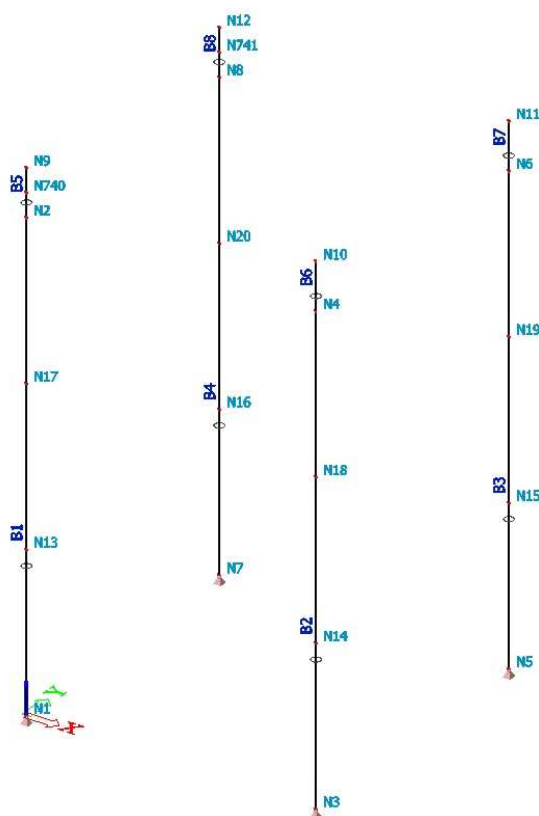
Jméno	Uzel	Systém	Typ	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz
Sn1	N1	GSS	Standard	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
Sn2	N3	GSS	Standard	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
Sn3	N5	GSS	Standard	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
Sn4	N7	GSS	Standard	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
Sn5	N268	GSS	Standard	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
Sn6	N270	GSS	Standard	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
Sn7	N273	GSS	Standard	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
Sn8	N275	GSS	Standard	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
Sn9	N309	GSS	Standard	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
Sn10	N310	GSS	Standard	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
Sn11	N313	GSS	Standard	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
Sn12	N315	GSS	Standard	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
Sn13	N317	GSS	Standard	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
Sn14	N298	GSS	Standard	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
Sn15	N297	GSS	Standard	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný



Obr. 1.1: Půdorys kotvení

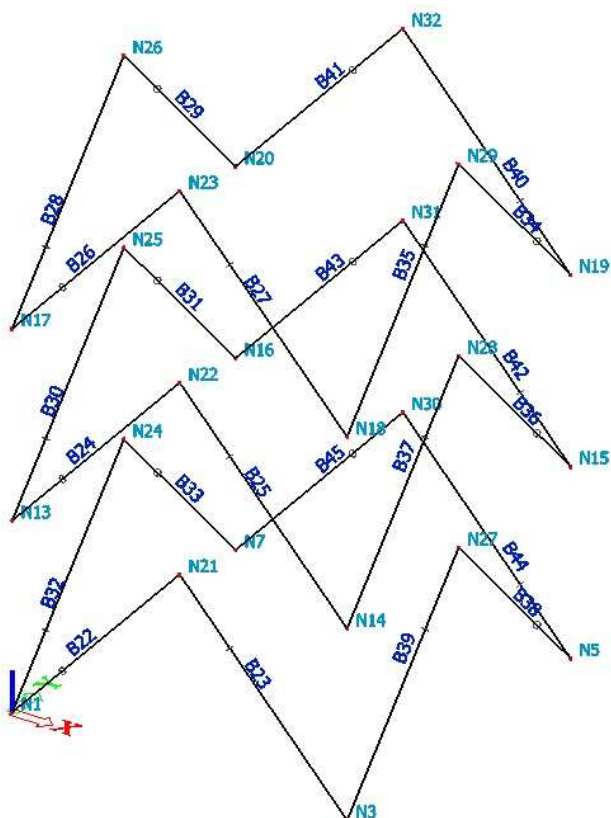
1.8 Typy prutů dle konstrukčního uspořádání

- Profil: TR $\Phi 355,6 \times 10$**



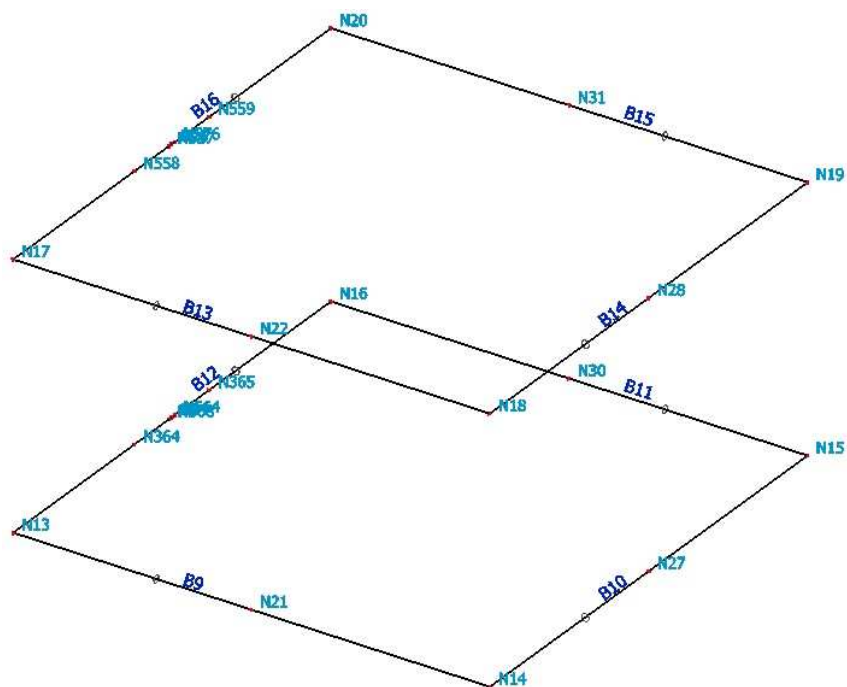
Obr. 1.2: Sloupy

- **Profil: TR $\Phi 219 \times 8$**



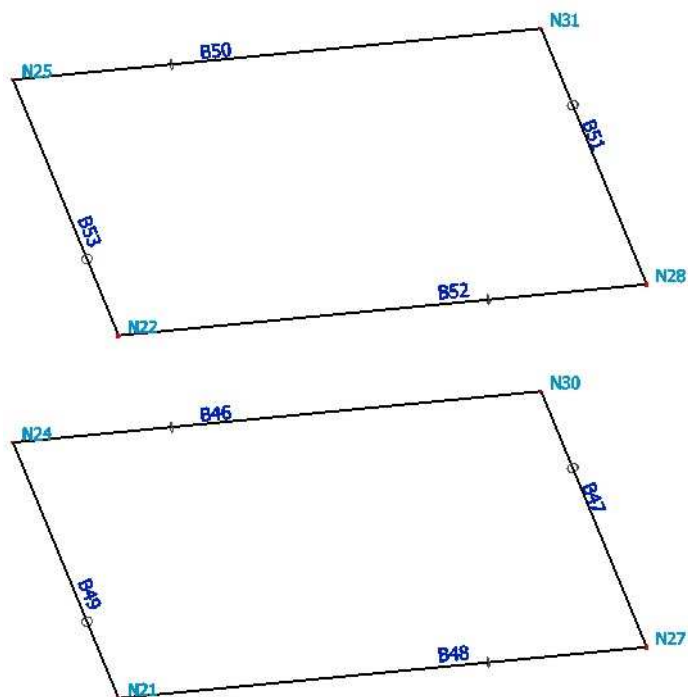
Obr. 1.3: Ztužidla šikmá

- **Profil: TR $\Phi 177,8 \times 6,3$**



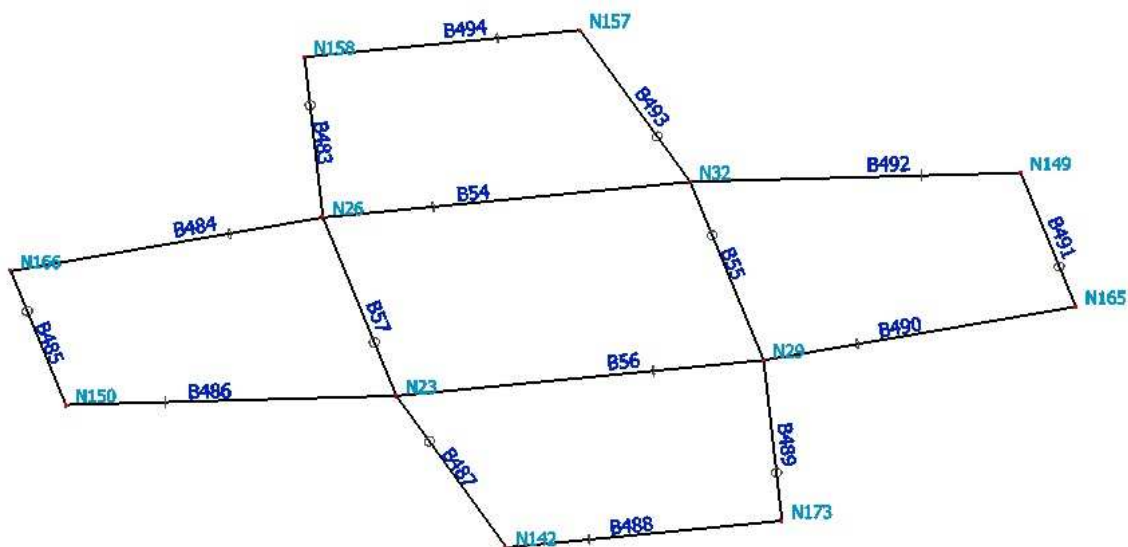
Obr. 1.4: Ztužidla vodorovná vnější

- **Profil: TR $\Phi 159 \times 6,3$**



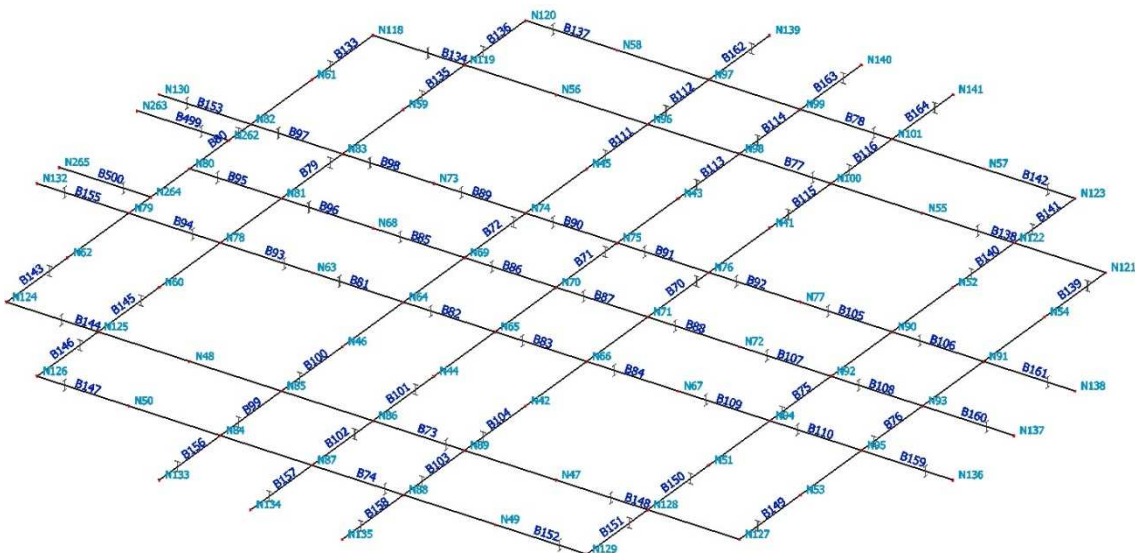
Obr. 1.5: Ztužidla vodorovná vnitřní

- **Profil: TR $\Phi 219 \times 8$**



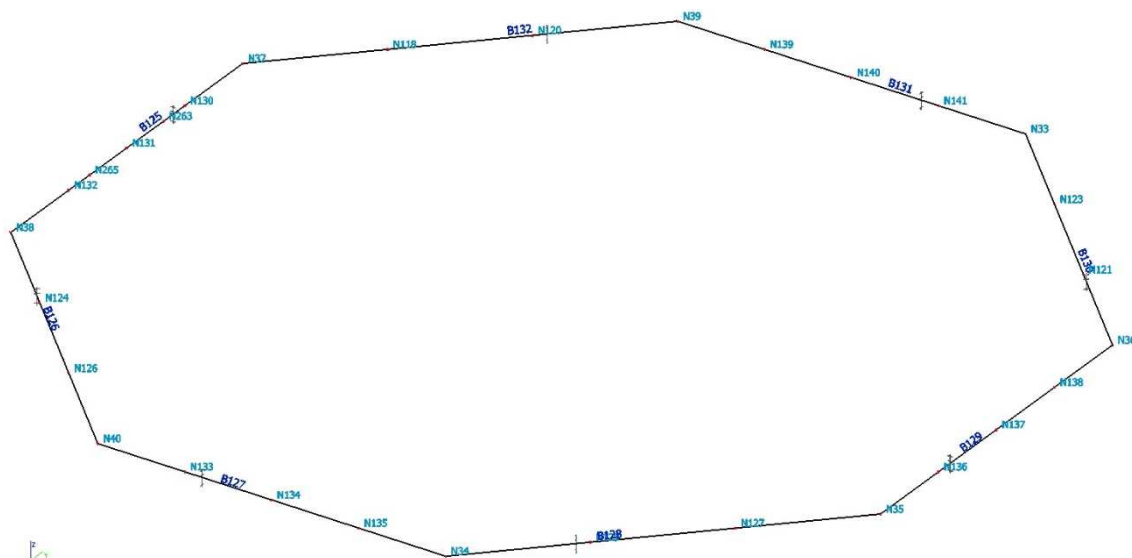
Obr. 1.6: Ztužení dolního pásu příhradových vazníků

- **Profil: IPE300**



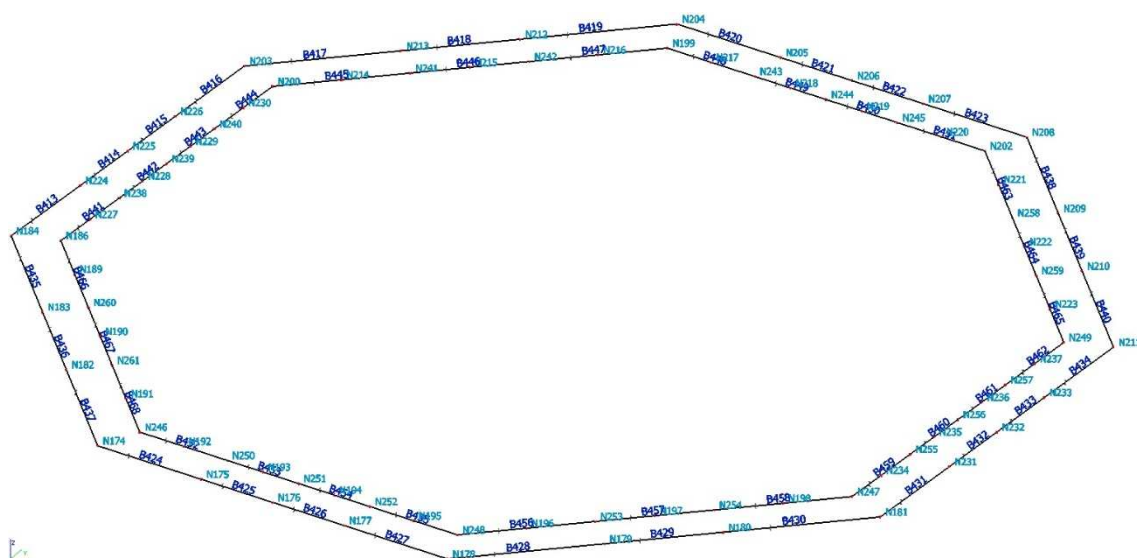
Stránka | 27

- **Profil: obecný průřez 2x IPE300**



Obr. 1.11: Obvodové nosníky roštu platformy

- **Profil: IPE160**



Obr. 1.12: Vaznice ochranné zóny platformy

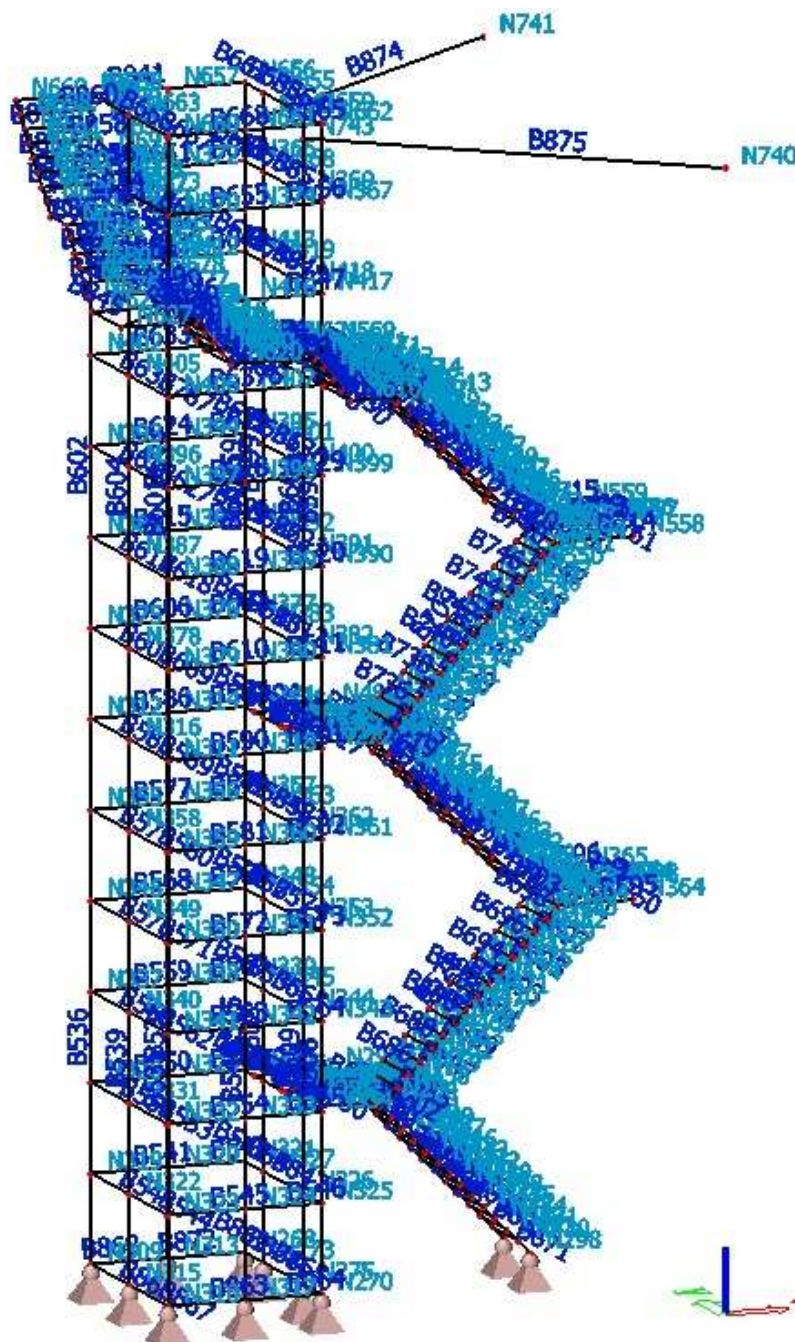
- **Profil: IPE300**

4HR 120x120x6

4HR 100x100x5

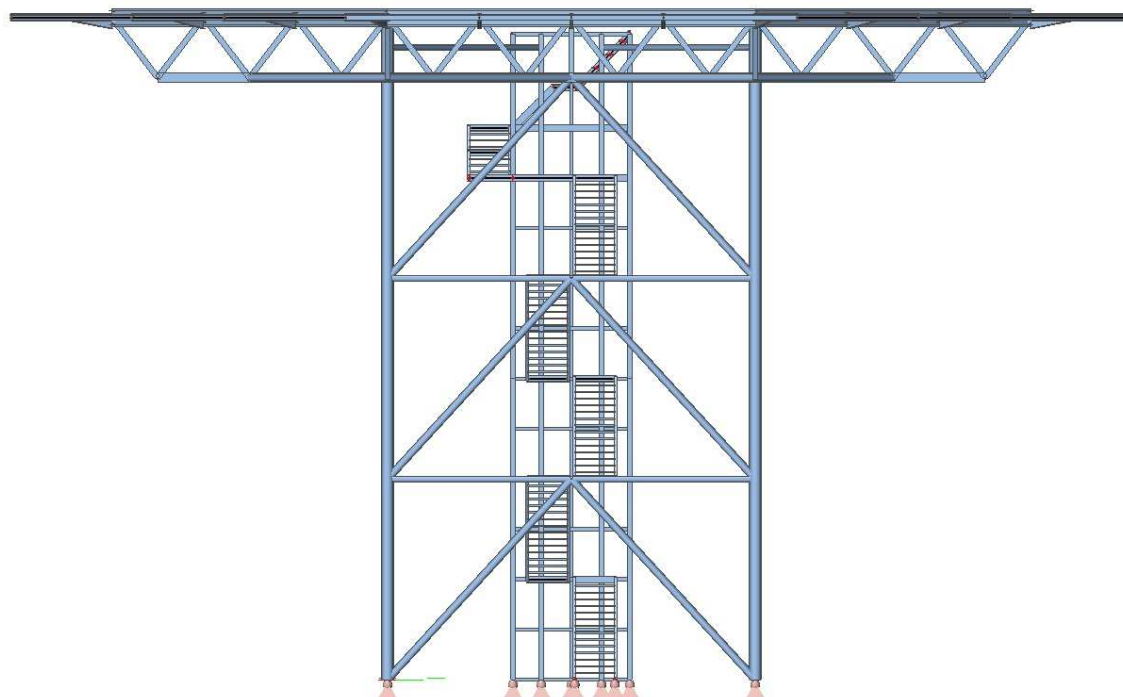
UPE200

TR $\Phi 159 \times 6,3$

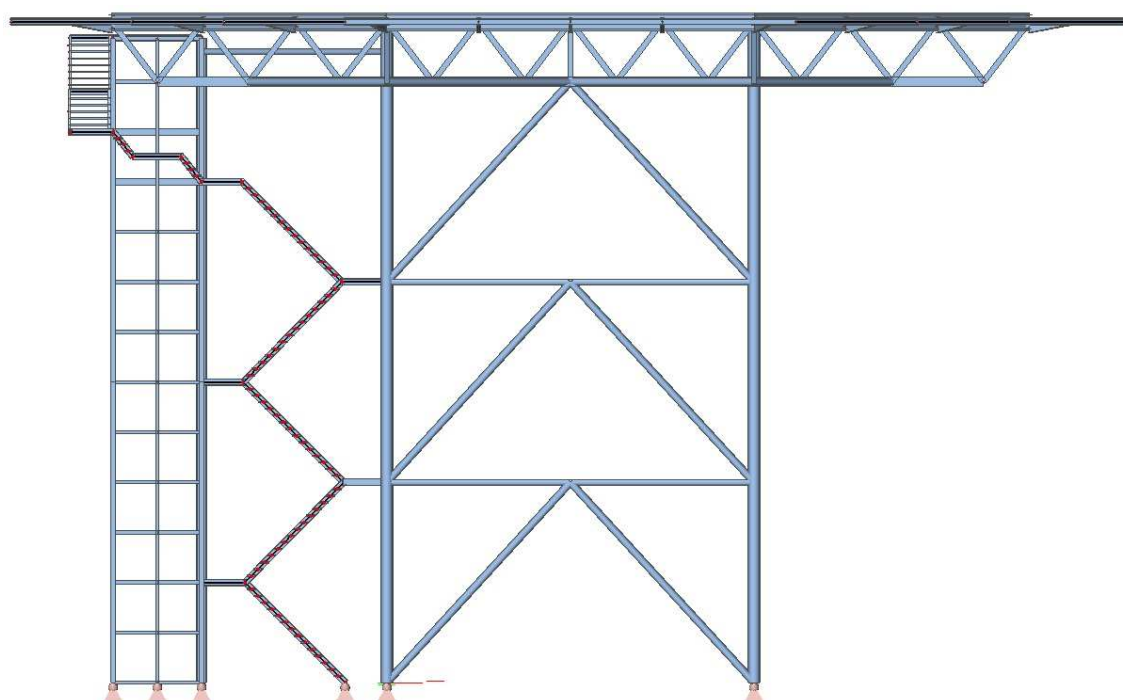


Obr. 1.15: Výtahová šachta a schodiště

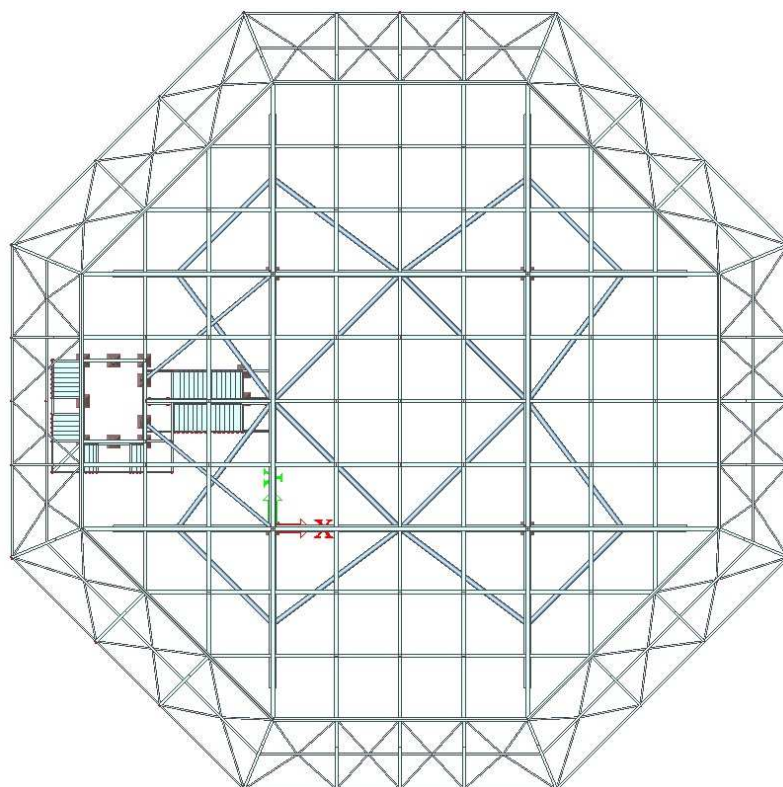
1.9 Pohledy



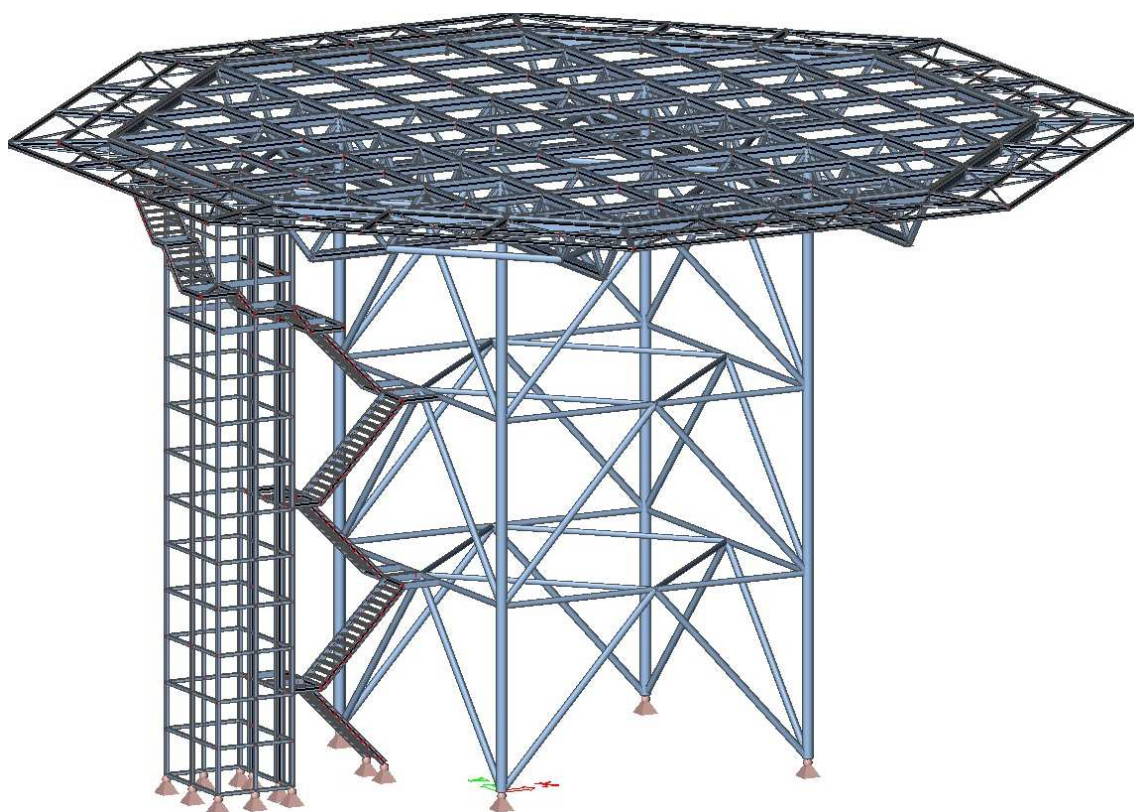
Obr. 1.16: Pohled +X



Obr. 1.17: Pohled +Y



Obr. 1.18: Pohled -Z



Obr. 1.19: Pohled 3D

2 ŽELEZOBETONOVÁ DESKA

2.1 Návrh železobetonové desky

Statický výpočet železobetonové desky není předmětem této práce, ale poněvadž je její tloušťka důležitým parametrem, byl proveden její přibližný odhad. Ekvivalentní statická síla od vrtulníku (240,0 kN) se má dle normy [8] uvažovat jako plošné zatížení o rozměrech 2,0 x 2,0 m (60 kN/m²), viz kapitola 3. Největší ohybové namáhání desky působící ve dvou směrech se předpokládá při přistání vrtulníku uprostřed jednoho z roštových polí o rozměrech 2,75 x 2,75 m.

Předběžný návrh tloušťky desky

$$l_1 + l_2 / (55 \div 75) = (2750 + 2750) / (55 \div 75) = 73 \div 100 \text{ mm}$$

Vzhledem k netypickému typu zatížení je tloušťka desky předběžně stanovena na dvojnásobnou hodnotu 180 mm.

Zatěžovací stavy

Vlastní tíha: $p_1 = 1,35 \cdot 25,00 \cdot 0,18 = 6,08 \text{ kNm}^{-1}$

$$p_{x1} = p_{y1} = p_1 / 2 = 3,04 \text{ kNm}^{-1}$$

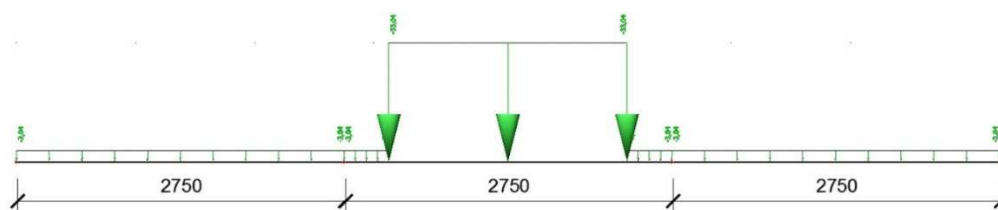
Vrtulník: $p_2 = 1,00 \cdot 60,00 = 60,00 \text{ kNm}^{-1}$

$$p_{x2} = p_{y2} = p_2 / 2 = 30,00 \text{ kNm}^{-1}$$

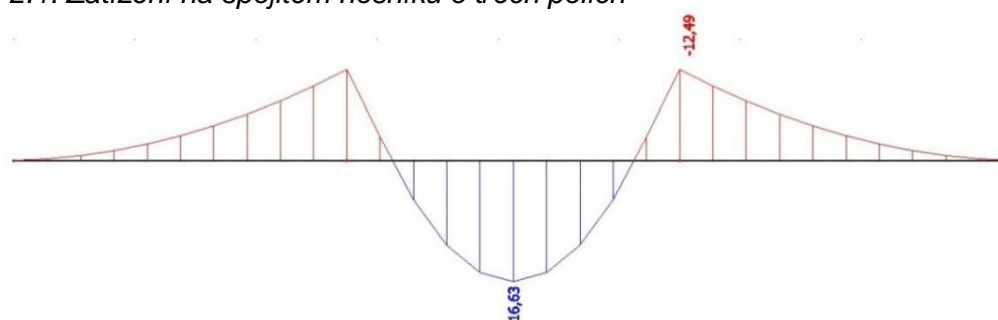
Z podmínky stejného průhybu je zatížení přerozděleno do dvou směrů. Příklad typu desky je převeden na nosník.

Transformace zadání na spojitý nosník o třech polích

Pro získání přibližných ohybových momentů v poli a nad podporou bylo řešení převedeno na spojitý nosník o třech polích (3x 2,75 m), který má simulovat část ocelového roštu nesoucí železobetonovou desku. Vrtulník je uvažován v prostředním poli.

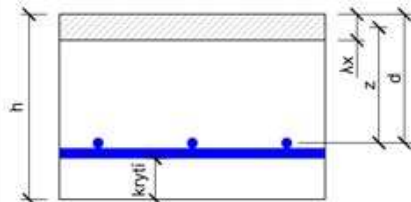


Obr. 2.1: Zatížení na spojitém nosníku o třech polích

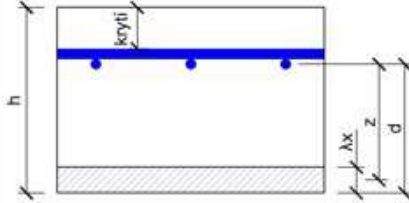


Obr. 2.2: Průběh ohybových momentů na spojitém nosníku o třech polích

Tab. 2.1: Návrh a posouzení ohybové únosnosti desky v poli

BETON C30/37 XD1		OCEL B500B (10505 R)	KRYTÍ VÝZTUŽE		
$f_{ctm} =$	2,9 MPa	$f_{yk} =$	500 MPa	$c_{min,b} =$	10 mm
$f_{ck} =$	30,0 MPa	$E_c =$	200 GPa	$c_{min,dur} =$	30 mm
$\gamma_c =$	1,5 -	$\gamma_s =$	1,15 -	$\Delta c_{dur,v} =$	0 mm
$f_{cd} =$	20,0 MPa	$f_{yd} =$	434,78 MPa	$\Delta c_{dur,st} =$	0 mm
$f_{ctk} =$	2,0 MPa	$\varepsilon_{yd} =$	2,17 ‰	$\Delta c_{dur,add} =$	0 mm
$\varepsilon_{cu3} =$	3,5 ‰			$\Delta c_{dev} =$	10 mm
Extrémní ohybový moment		$M_{ed} =$	16,63 kNm	$c_{nom} =$	40 mm
Předběžný návrh			Schéma		
průměr výztuže	$\Phi =$	10 mm			
výška desky	$h =$	180 mm			
šířka pásu	$b =$	1000 mm			
staticky účinná výška	$d =$	125 mm			
součinitel λ	$\lambda =$	0,8 -			
součinitel η	$\eta =$	1,0 -			
nutná plocha výztuže	$A_{s,req} = 3,15E-04 \text{ m}^2$				
Skutečná plocha výztuže			Posouzení únosnosti		
průměr výztuže	10 mm		tlačená výška $x =$	14,2 mm	
vzdálenost výztuže	150 mm		účinná výška $d =$	125 mm	
světlá vzdálenost výztuže	140 mm		rameno sil $z =$	119,3 mm	
plocha výztuže	5,24E-04 m ²		moment $M_{rd} =$	27,16 kNm	
Momentová únosnost	$M_{rd} \text{ [kNm]} = 27,16 \geq M_{ed} \text{ [kNm]} 16,63 \checkmark 61\%$				
Posouzení konstrukčních zásad					
minimální plocha výztuže	$A_{s,min} =$	1,89E-04 m ²	\geq	1,63E-04 m ²	
maximální plocha výztuže	$A_{s,max} =$	7,20E-03 m ²	\geq	5,24E-04 m ²	
maximální vzdálenost výztuže	$s_{max,slabs} =$	300 mm	\geq	150 mm	
min. světlá vzdálenost výztuže	$s_{u,min} =$	21 mm	\leq	140 mm	
kontrola započítatelnosti výztuže	$\varepsilon_s =$	27,2 ‰	\geq	2,17 ‰	

Tab. 2.2: Návrh a posouzení ohybové únosnosti desky nad podporou

BETON C30/37 XD1		OCEL B500B (10505 R)	KRYTÍ VÝZTUŽE		
$f_{ctm} =$	2,9 MPa	$f_{yk} =$	500 MPa	$c_{min,b} =$	10 mm
$f_{ck} =$	30,0 MPa	$E_c =$	200 GPa	$c_{min,dur} =$	30 mm
$\gamma_c =$	1,5 -	$\gamma_s =$	1,15 -	$\Delta c_{dur,v} =$	0 mm
$f_{cd} =$	20,0 MPa	$f_{yd} =$	434,78 MPa	$\Delta c_{dur,st} =$	0 mm
$f_{ctk} =$	2,0 MPa	$\varepsilon_{yd} =$	2,17 ‰	$\Delta c_{dur,add} =$	0 mm
$\varepsilon_{cu3} =$	3,5 ‰			$\Delta c_{dev} =$	10 mm
Extrémní ohybový moment		$M_{ed} =$	12,49 kNm	$c_{nom} =$	40 mm
Předběžný návrh			Schéma		
průměr výztuže	$\Phi =$	10 mm			
výška desky	$h =$	180 mm			
šířka pásu	$b =$	1000 mm			
staticky účinná výška	$d =$	130 mm			
součinitel λ	$\lambda =$	0,8 -			
součinitel η	$\eta =$	1,0 -			
nutná plocha výztuže	$A_{s,req} = 2,25E-04 \text{ m}^2$				
Skutečná plocha výztuže			Posouzení únosnosti		
průměr výztuže	10 mm		tlačená výška $x =$	10,7 mm	
vzdálenost výztuže	200 mm		účinná výška $d =$	130 mm	
světlá vzdálenost výztuže	190 mm		rameno sil $z =$	125,7 mm	
plocha výztuže	3,93E-04 m ²		moment $M_{rd} =$	21,47 kNm	
Momentová únosnost	$M_{rd} \text{ [kNm]} = 21,47 \geq$		$M_{ed} \text{ [kNm]}$	12,49 ✓ 58%	
Posouzení konstrukčních zásad					
minimální plocha výztuže	$A_{s,min} = 1,96E-04 \text{ m}^2$	\geq	1,69E-04 m ²		
maximální plocha výztuže	$A_{s,max} = 7,20E-03 \text{ m}^2$	\geq	3,93E-04 m ²		
maximální vzdálenost výztuže	$s_{max,slabs} = 300 \text{ mm}$	\geq	200 mm		
min. světlá vzdálenost výztuže	$s_{u,min} = 21 \text{ mm}$	\leq	190 mm		
kontrola započítatelnosti výztuže	$\varepsilon_s = 39,1 \text{ ‰}$	\geq	2,17 ‰		

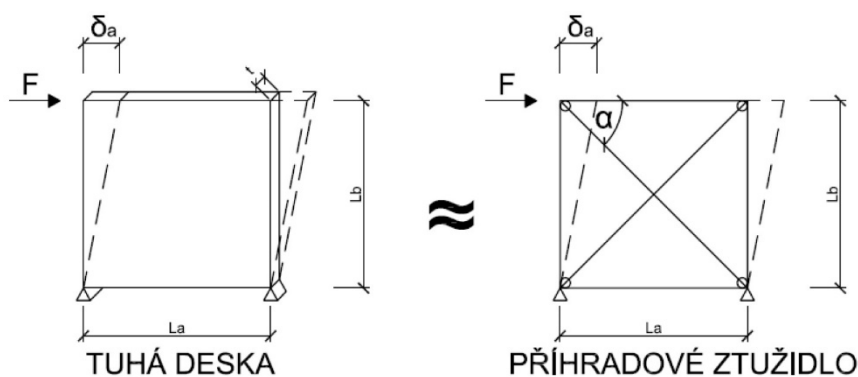
Z provedeného návrhu a posouzení průřezu železobetonové desky na ohybovou únosnost lze její tloušťku 180 mm považovat za vyhovující.

2.2 Ekvivalentní náhrada železobetonové desky

Spřažené konstrukce se chovají jako prostorově tuhé systémy. Je to dáno především velkou tuhostí betonové desky. Cílem této kapitoly bylo ve výpočetním modelu zohlednit absenci železobetonové desky z hlediska tuhosti.

2.2.1 Vodorovná tuhost

Platformu heliportu tvoří monolitická železobetonová deska o tloušťce 180 mm, která je spřažena pomocí spřahovacích trnů s ocelovým roštem z profilů IPE300. V modelu je železobetonová deska, která zajišťuje vodorovnou tuhost platformy, nahrazena vodorovnými ztužidly s ekvivalentní smykovou tuhostí. Ztužidla jsou z oceli S355J2G3 čtvercového profilu o délce hrany z tab. 2.3 a nulové hmotnosti.



Obr. 2.3: Náhrada železobetonové desky příhradovým ztužidlem

Princip výpočtu

Tuhá deska

$$\text{Hookův zákon} \quad \tau = G\gamma \quad (a)$$

$$\text{Smykové napětí} \quad \tau = F / (L_a \cdot t) \quad (b)$$

$$\text{Poměrné zkosení} \quad \gamma = \delta_a / L_b \quad (c)$$

$$\text{z Hookova zákona plyne} \quad \gamma = \tau / G \quad (d)$$

$$(b) \text{ dosadíme do } (d) \quad \gamma = F / (G \cdot L_a \cdot t) \quad (e)$$

$$\text{z } (c) \text{ plyne} \quad \delta_a = \gamma \cdot L_b \quad (f)$$

$$(e) \text{ dosadíme do } (f) \quad \delta_a = F \cdot L_b / (G \cdot L_a \cdot t) \quad (g)$$

Příhradové ztužidlo

Princip virtuálních prací $\delta_a = 2(N_D \cdot \overline{N}_D \cdot L_D) / (EA) \quad (h)$

$$N_D = F / 2 \cos \alpha; \overline{N}_D = 1/2 \cos \alpha; L_D = L_A / \cos \alpha \quad (i)$$

$$\delta_a = F \cdot L_a / (2 \cos^3 \alpha \cdot EA) \quad (j)$$

$$\cos \alpha = L_a / \sqrt{L_A^2 + L_B^2} \quad (k)$$

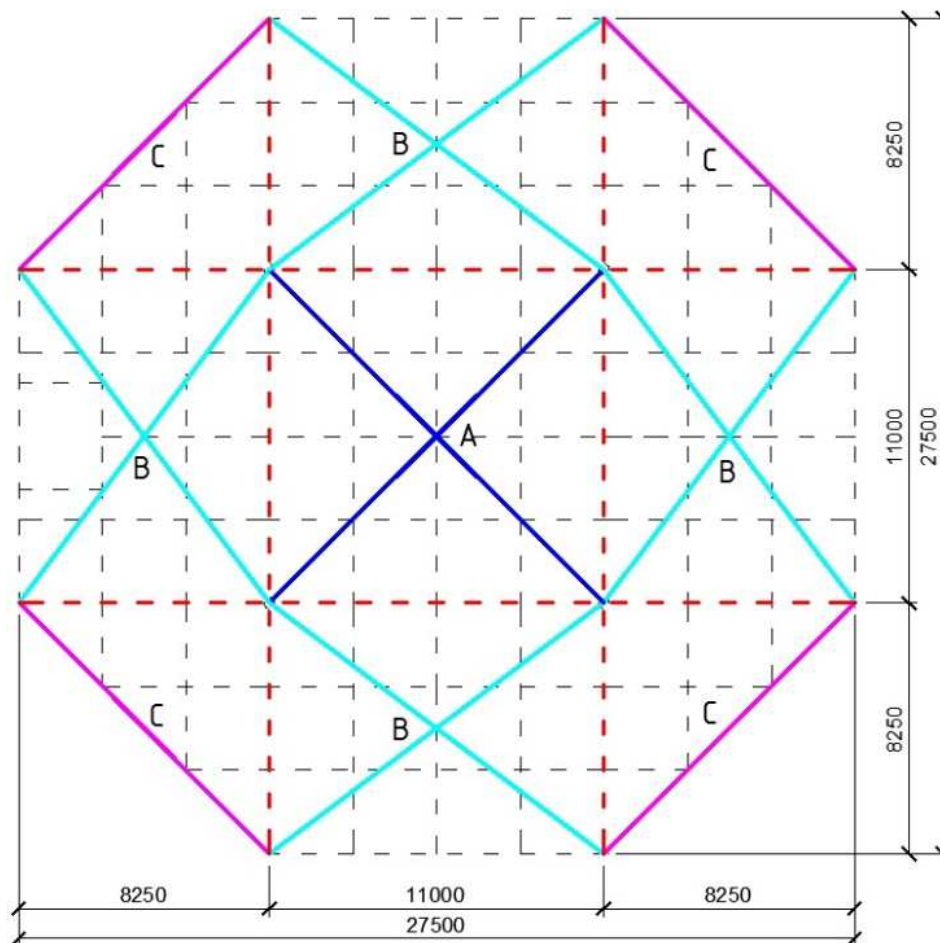
poté $\delta_A = F(L_A^2 + L_B^2)^{3/2} / (2EA L_A^2) \quad (l)$

→ konstanta $EA = Gt(L_A^2 + L_B^2)^{3/2} / (2L_A L_B) \quad (m)$

Tab. 2.3: Ekvivalentní příhradové ztužidlo

Typ ztužidla	A	B	C	Beton C30/37	
$L_a [m]$	11,00	11,00	5,50	$E_{cm} [GPa]$	31
$L_b [m]$	11,00	8,25	5,50	$G [GPa]$	13,02
$EA [MPa \cdot m^2]$	3,646E+10	3,357E+10	1,823E+10	$t [mm]$	180
$A [mm^2]$	173609	159844	86804	Ocel S355J2	
redukce A $[mm^2]$	173609	79922	65103	$E [GPa]$	210
Hrانا profilu $[mm]$	415	280	255		

Příhradové vazníky rozdělují platformu na 9 polí, z nichž pouze pole ztuženo ztužidly typu A je podpíráno ve všech svých rozích. Z tohoto důvodu je zavedena redukce plochy pro ztužidla typu B a C. Plocha ztužidla typu B je zredukována na 50 %. Plocha ztužidla typu C je zmenšena na 75 % a použito je pouze 1 ztužidlo, viz obr. 2.4.



Obr. 2.4: Náhradní příhradové ztužení platformy

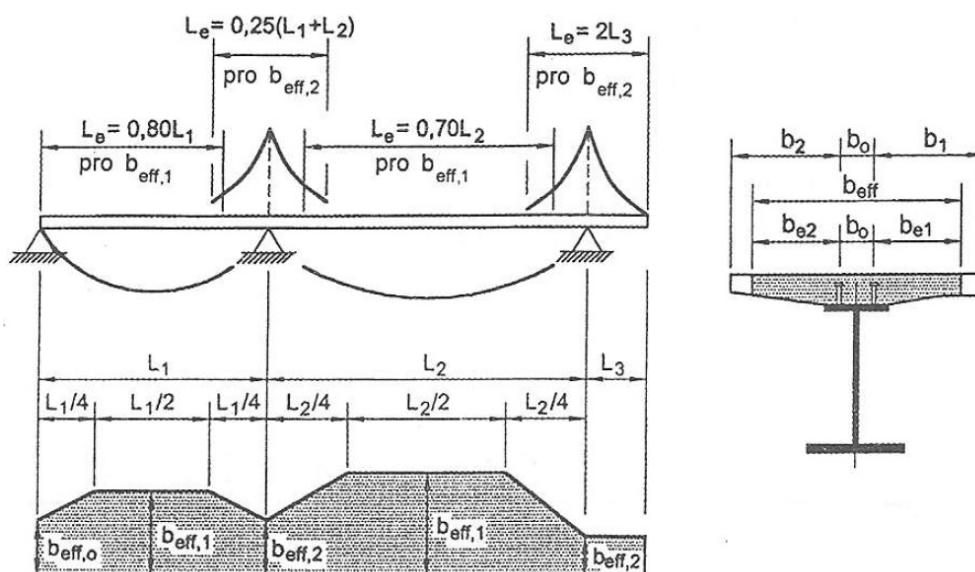
2.2.2 Ohybová tuhost

Pro korektnost výpočtu stability v kapitole 8 bylo nutné stanovit spolupůsobící šířku železobetonové desky, která se podílí na zvýšení ohybové tuhosti konstrukce. Princip stanovení spolupůsobící šířky železobetonu je patrný z obr. 2.5.

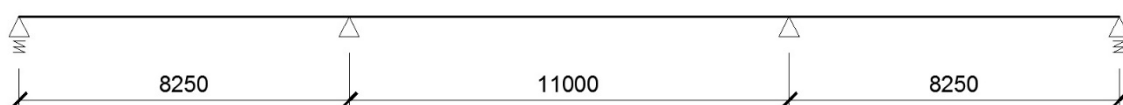
Podle vykreslených ohybových momentů ze zatěžovacího stavu 2 na obr. 2.7 lze odhadnout zjednodušené statické schéma jednotlivých spojitých nosníků platformy, které je znázorněno na obr. 2.6. Obrázek rovněž zobrazuje ekvivalentní příhradové ztužení a pruty profilu HEA340 nahrazující betonovou desku s profily IPE300.

Nehomogenní průřez spřaženého nosníku lze převést na průřez homogenní tak, že průřezovou plochu železobetonové desky A_c nahradíme myšlenou ocelovou plochou stejné tuhosti v tlaku při zohlednění poměru modulů pružnosti. Tak byl získán ekvivalentní, tzv. ideální ocelový průřez, z něhož byl určen moment setrvačnosti průřezu. Nově spočítanému momentu setrvačnosti byl přiřazen odpovídající průřez HEA, kterým

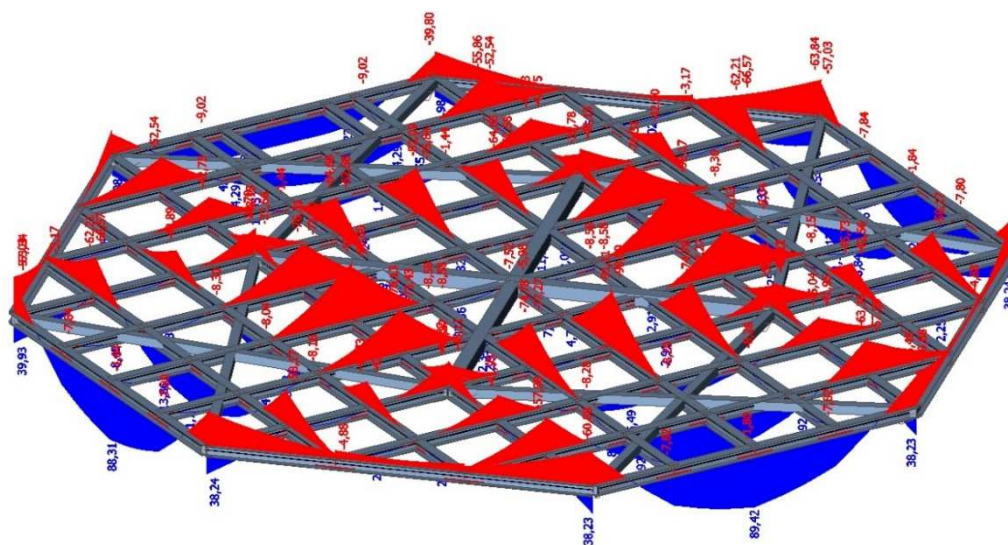
byla opatřena celá platforma. Navýšení hmotnosti vlivem mohutnějšího průřezu bylo ošetřeno adekvátním ponížením měrné objemové hmotnosti.



Obr. 2.5: Spolupůsobící šířka a definice náhradního rozpětí



Obr. 2.6: Zjednodušené statické schéma platformy heliportu



Obr. 2.7: Průběh ohybových momentů na roštu platformy od zatěžovacího stavu 2

Spolupůsobící šířka pro pole

$$L_{e1} = 0,80 \cdot L_1 = 0,80 \cdot 8250 = 6600 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = L_{e1}/8 = 6600/8 = 825 \text{ mm}$$

$$b_{eff1} = 2b_{e1} + b_0 = 2 \cdot 825 + 80 = 1730 \text{ mm}$$

Spolupůsobící šířka pro podporu

$$L_{e1} = 0,25 \cdot (L_1 + L_2) = 0,25 \cdot (8250 + 11000) = 4813 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = L_{e1}/8 = 4813/8 = 602 \text{ mm}$$

$$b_{eff2} = 2b_{e2} + b_0 = 2 \cdot 602 + 80 = 1284 \text{ mm}$$

Pro výpočet pouze jednoho ideálního průřezu bylo provedeno zjednodušení zprůměrováním hodnot.

$$b_{eff} = (b_{eff1} + b_{eff2})/2 = (1730 + 1284)/2 = 1507 \text{ mm}$$

Princip výpočtu

$$n = E_a/E_c = 210/16 = 13,13$$

$$E_c = E_{cm}/2 = 32/2 = 16 \text{ GPa}$$

$$A_{a1} = A_c/n = (1,507 \cdot 0,180)/13,13 = 0,020660 \text{ m}^2$$

Náhradní ocelový průřez zachovává poměr stran i těžiště.

Průřez obdélníku je: 416 mm x 50 mm

Moment setrvačnosti ideálního průřezu změřený v programu AutoCAD 2016:

IPE 300

$$I_i = 3,341 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I = 0,836 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$A = 5,380 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

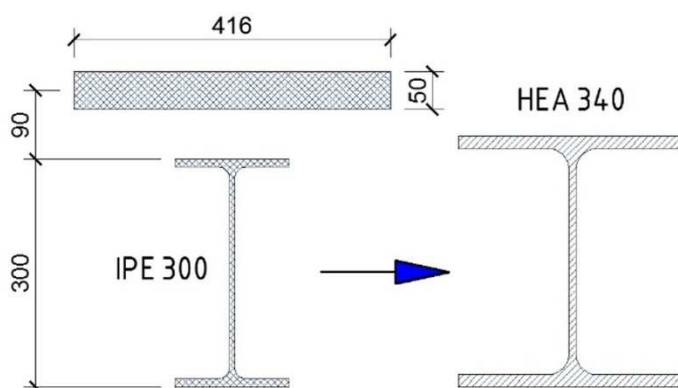
$$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$$

HEA 340

$$I = 2,770 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$A = 13,400 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\rho = 3152 \text{ kg/m}^3$$



Obr. 2.8: Ekvivalentní průřez profilu HEA340

3 ZATÍŽENÍ

3.1 Zatížení stálé

3.1.1 Vlastní tíha

Stanoveno programem Scia Engineer 2015.3, měrná hmotnost oceli $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$.

3.1.2 Ostatní stálé

Železobetonová deska

<i>Položka</i>	<i>$g_{k,SR} \text{ [kN/m}^2\text{]}$</i>
Železobetonová deska tloušťky 180 mm	4,60
Hydroizolační a separační vrstva	0,10

Železobetonová deska není ve výpočetním programu modelována, proto je její hmotnost nahrazena spojitým plošným zatížením o velikosti $4,60 \text{ kN/m}^2$.

Zatížení je softwarem přerozděleno na jednotlivé pruty roštu platformy, horních pasů příhradových nosníků a obvodových nosníků platformy.

Ocelové podlahové rošty

<i>Položka</i>	<i>$g_{k,SR} \text{ [kN/m}^2\text{]}$</i>
Ocelový rošt SP - 40/4 - 34/38	0,51

Zatížení ocelovými rošty je rovněž, jako železobetonová deska, simulováno plošným zatížením. Ocelový rošt je uvažován v ochranné zóně přístávací plošiny a na podestách schodiště.

Ocelové zábradlí

<i>Položka</i>	<i>$g_{k,SR} \text{ [kN/m}^2\text{]}$</i>
Ocelové zábradlí	0,30

Hmotnost zábradlí o výšce 1,20 m je ve výpočetním modelu nahrazena rovnoměrným spojitým zatížením. Zatížení je navoleno na schodnice a okrajové nosníky lávek schodiště.

Skleněná výplň výtahové šachty

<i>Položka</i>	<i>$g_{k, sr}$ [kN/m²]</i>
Sklo tloušťky 15 mm	0,35

Hmotnost skleněné výplně výtahové šachty je ve výpočetním modelu nahrazena rovnoměrným spojitým zatížením. Zatíženy jsou příčné nosníky výtahové šachty.

3.2 Zatížení od osob

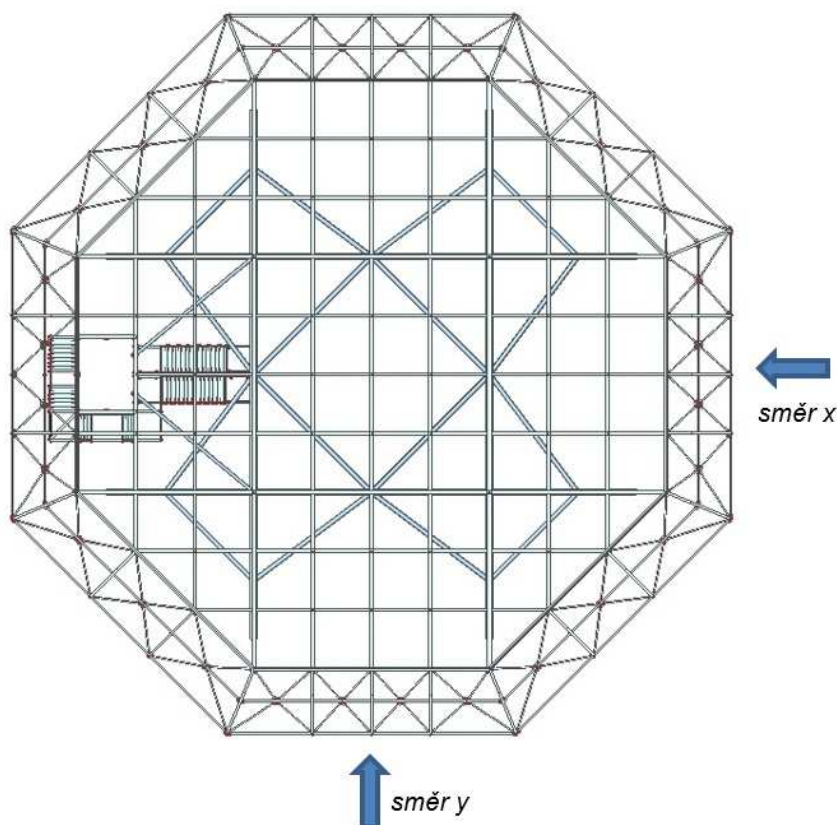
Výpočet uvažuje plné užité zatížení osobami, byť je tato situace pro konstrukci heliportu sloužící k záchranným účelům velice nepravděpodobná. Plné užité zatížení od osob lze předpokládat např. při slavnostním otevření konstrukce či jiné výjimečné akci. Z tohoto důvodu je zatížení zohledněno. Zatížení je uvažováno dle normy [2] na celé ploše přistávací platformy a na schodišti. Schodnice a okrajové nosníky schodiště jsou navíc zatíženy krouticím momentem, který simuluje hodnotou 1 kN/m' opření osob o zábradlí výšky 1,20 m.

<i>Stanovené použití</i>	<i>$g_{k, uv}$ [kN/m²]</i>
Přistávací platforma	2,00
Schodiště	3,00
	<i>$g_{k, uv}$ [kN/m']</i>
Schodiště - vodorovné zatížení	1,20

3.3 Zatížení větrem

Norma [4] uvažuje vítr jako náhodný proces. Rychlost větru se z hlediska časové proměny $V(t)$ (a tedy i zatížení) rozděluje na složku střední (průměrnou za integrační dobu), např. ($T_{int} = 10 \text{ minut}$), na kterou se superponuje složka dynamická (flukтуаční) V_{fl} .

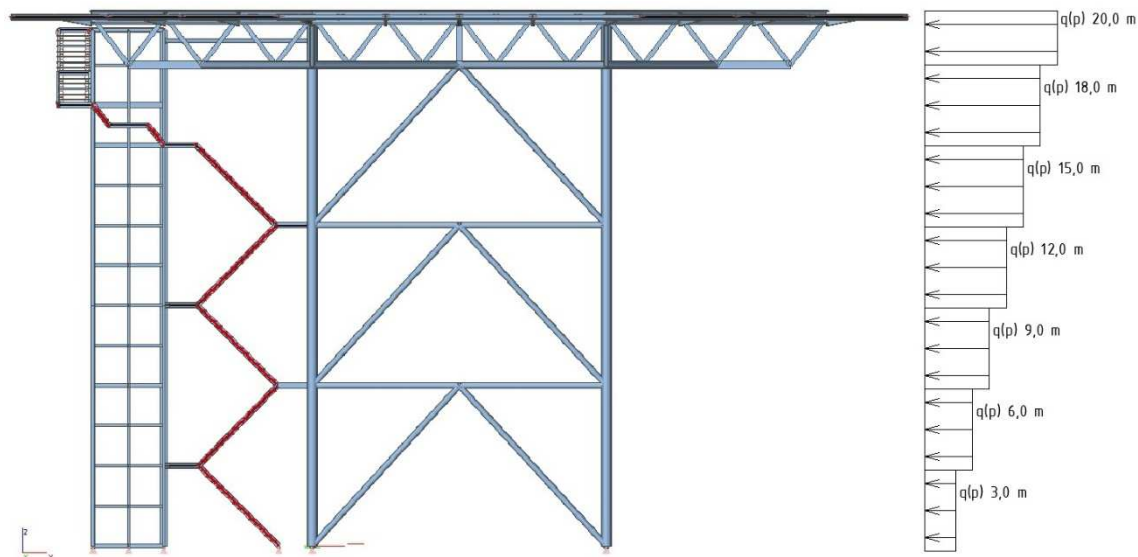
Vítr je pro řešenou konstrukci charakteru velkého přístřešku výrazným zatížením, proto je mu věnována zvýšená pozornost. Působení větru se uvažuje ve 2 na sebe kolmých směrech. Úvaha výpočtu zatížení je následující. Heliport je vzhledem k osám x a y symetrický, proto byly hodnoty zatížení na samotný heliport stanoveny pouze pro jeden směr. Symetrii narušuje jen konstrukce výtahové šachty a schodiště. Pro zjednodušení je zatížení působící na schodnice určeno rovněž pouze pro jeden směr. Ovšem zatížení výtahové šachty je vyčísleno pro oba dva směry.



Obr. 3.1: Uvažované směry působení větru

Heliport nesplňuje žádnou podmínku oddílu 6.2 normy [3] pro uvážení součinitele konstrukce $c_s c_d = 1,0$. Proto nelze zanedbat zvýšený účinek od kmitání konstrukce

a součinitel je přesně stanoven. Působící zatížení na konstrukci bylo rozděleno po výšce na sedm pásem. Předpokládá se, že dynamický tlak v každém uvažovaném pásu je konstantní.



Obr. 3.2: Výšková pásma konstrukce

Lokalita: Centrum Prahy – větrová oblast I → výchozí hodnota základní rychlosti větru $v_{b,0} = 25,0 \text{ m/s}$;

Kategorie terénu: IV – oblasti, ve kterých je nejméně 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15 m;

Základní rychlost větru

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25,0 = 25,0 \text{ ms}^{-1}$$

c_{dir} součinitel směru větru; $c_{dir} = 1,0$ (doporučená hodnota);

c_{season} součinitel ročního období; $c_{season} = 1,0$ (doporučená hodnota);

$v_{b,0}$ výchozí základní rychlost větru; $v_{b,0} = 25,0 \text{ m/s}$;

Součinitel drsnosti terénu $c_r(z)$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) \quad \text{pro} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

z výška působiště větru;

$$k_r = 0,19 (z_o/z_{o,II})^{0,7}$$

$$k_r = 0,19 (0,05/0,05)^{0,7} = 0,19$$

Kategorie terénu

$$z_o = 0,05 \text{ m}; z_{o,II} = 0,05 \text{ m}; z_{min} = 2,00 \text{ m}$$

Součinitel orografie $c_o(z)$

Průměrný sklon návětrného terénu je menší než $3^\circ \rightarrow c_o(z) = 1,0$

Střední rychlost větru $v_m(z)$

$$v_m(z) = c_{r(z)} \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulence větru $l_v(z)$

$$l_{v(z)} = \frac{k_l}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_o)}$$

k_l součinitel turbulence; $k_l = 1,0$ (doporučená hodnota);

Maximální dynamický tlak $q_p(z)$

$$q_p(z) = [1 + 7l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

ρ měrná hmotnost vzduchu; $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ (doporučená hodnota);

Tab. 3.1: Výpočet veličin pro jednotlivá výšková pásma

z	$c_r(z)$	$v_m(z)$	$l_v(z)$	$q_p(z)$
[m]	[m]	[m/s]	[]	[kg/m · s ²]
3,0	0,54	12,1	0,43	372
6,0	0,54	12,1	0,43	372
9,0	0,54	12,1	0,43	372
12,0	0,58	13,1	0,40	409
15,0	0,63	14,3	0,37	457
18,0	0,68	15,2	0,35	497
20,0	0,70	15,8	0,33	520

3.3.1 Součinitel konstrukce $c_s c_d$

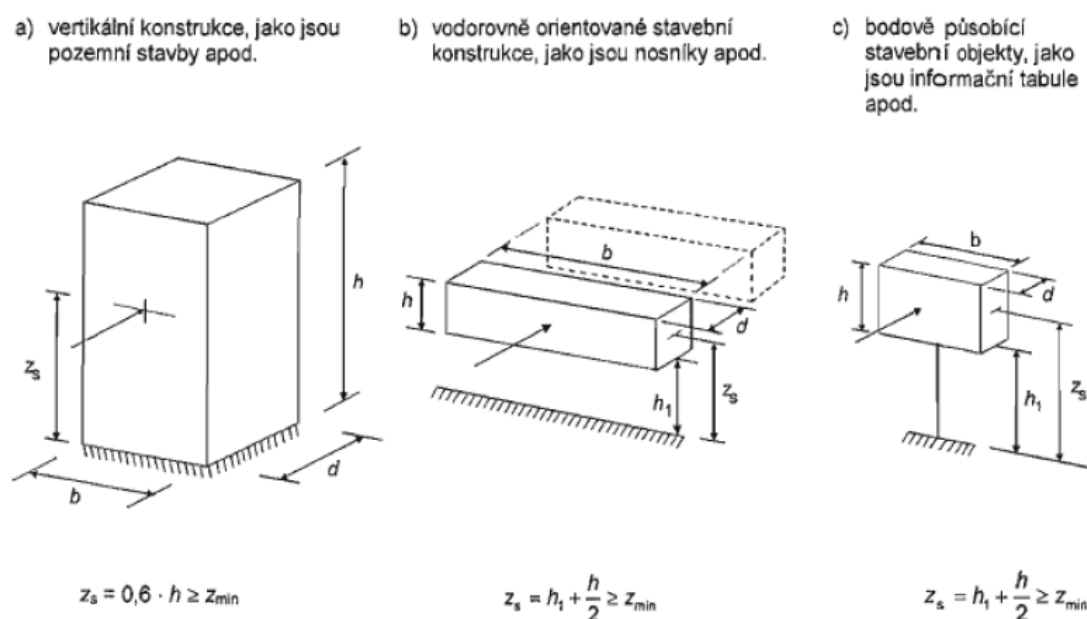
$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot l_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 l_v(z_s)} \geq 0,85 \quad (3.1)$$

Je stanoven jako součin součinitele velikosti konstrukce ($c_s < 1$) a dynamického součinitele ($c_d > 1$).

Součinitel velikosti konstrukce c_s bere v úvahu účinek redukce zatížení větrem v důsledku nesoučasného výskytu maximálních tlaků větru na povrchu.

Dynamický součinitel c_d bere v úvahu zvýšení účinku zatížení od kmitání způsobeného turbulencí v rezonanci s konstrukcí.

Výraz (3.1) se použije tehdy, pokud konstrukce odpovídá jednomu z obecných tvarů na obr. 3.3 a je-li významné kmitání pouze ve směru větru v základním tvaru a tento tvar má konstantní znaménko. Podrobný postup výpočtu lze najít v [3].



Obr. 3.3: Stanovení referenční výšky z_s obecných tvarů konstrukcí

Součinitel konstrukce $c_s c_d$

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot l_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7l_v(z_s)}$$

z_s	referenční výška;
k_p	součinitel maximální hodnoty;
B^2	součinitel odezvy pozadí;
R^2	rezonanční část odezvy;
$l_v(z_s)$	turbulence větru,

Součinitel odezvy pozadí B^2

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{b+h}{L(z_s)}\right)^{0,63}}$$

b	šířka konstrukce;
h	výška konstrukce;
$L(z_s)$	měřítko délky turbulence v referenční výšce;

Měřítko délky turbulence $L_{(zs)}$

$$L(z_s) = L_t \cdot (z_s/z_t)^\alpha$$

$$\alpha = 0,76 + 0,05 \cdot \ln(z_o)$$

z_t	200 m;
L_t	300 m;

Součinitel maximální hodnoty k_p

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}}$$

v	frekvence přechodů s kladnou odchylkou;
T	doba integrace;

Frekvence přechodů s kladnou směrnici ν

$$\nu = n_{1,x} \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}}$$

$n_{1,x}$ základní hodnota vlastní frekvence konstrukce;

Základní frekvence $n_{1,x}$

Hodnota určená modální analýzou, viz kapitola 4; $n_{1,x} = 1,49 \text{ Hz}$

Rezonanční část odezvy R^2

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b)$$

δ celkový logaritmický dekrement útlumu;

S_L výkonná spektrální hustota;

R_h, R_b aerodynamická admitance;

Výkonná spektrální hustota S_L

$$S_L(z, n_{1,x}) = \frac{6,8 \cdot f_L(z, n_{1,x})}{(1 + 10,2 \cdot f_L(z, n_{1,x}))^{5/3}}$$

$$f_L(z, n_{1,x}) = n_{1,x} \cdot \frac{L(z)}{v_m(z)}$$

Aerodynamická admitance R_h, R_b

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_h})$$

$$\eta_h = 4,6 \cdot h/L(z_s) \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_b})$$

$$\eta_b = 4,6 \cdot b/L(z_s) \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$$

$$f_L(z_s, n_{1,x}) = 3,700;$$

Logaritmický dekrement útlumu δ

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d$$

$$\delta_a = c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s) / (2 \cdot \eta_{1,x} \cdot m_e)$$

$$\delta_s = 0,05 \quad (\text{pro ocelové příhradové věže s obyčejnými šrouby});$$

$$\delta_d = 0,0 \quad (\text{bez zvláštních zařízení});$$

Ekvivalentní hmotnost m_e

$$m_e = \frac{\int_0^1 m(s) \cdot \Phi_1^2(s) \cdot d_s}{\int_0^1 \Phi_1^2(s) \cdot d_s}$$

$m(s)$ hmotnost konstrukce na jednotku délky;

$\Phi_1(s)$ vlastní tvar normovaný na jednotku v bodě maximální výchylky;

UY výchylka ve směru Y pro odpovídající vlastní frekvenci;

Tab. 3.2: Hmotnost prvků jednotlivých pásem pro stanovení $m(s)$ [kg]

Výšk. pásma	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	20,0
Tr Φ 355,6x10	1 023	1 023	1 023	1 023	1 023	1 023	614
Tr Φ 219x8	1 357	1 357	1 357	1 357	1 357	1 357	5 917
Tr Φ 177,8x6,3	-	1 175	-	1 175	-	-	-
Tr Φ 159x6,3	-	830	-	830	-	-	-
HEA300	-	-	-	-	-	5 970	-
4HR160x160x8	-	-	-	-	-	6 877	-
IPE400	-	-	-	-	-	-	9 284
IPE300	-	-	-	-	-	-	19 015
2x IPE300	-	-	-	-	-	-	7 647
IPE220	-	-	-	-	-	-	1 359
IPE160	-	-	-	-	-	-	3 335
Tr Φ 60x3,2	-	-	-	-	-	-	1 189
Železobeton	-	-	-	-	-	-	286 074
Rošty	-	-	-	-	-	-	15 397
SUMA	2 380	3 555	2 380	3 555	2 380	19 786	342 555

Tab. 3.3: Výpočet ekvivalentní hmotnosti

Výšk. pásma	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	20,0
$UY [mm]$	0,15	0,37	0,59	0,85	1,07	1,34	1,52
$\Phi_{1,x}$	0,10	0,24	0,39	0,56	0,70	0,88	1,00
$(\Phi_{1,x})^2$	0,01	0,06	0,15	0,31	0,50	0,78	1,00
$m(s) [kg]$	793,4	$\frac{1}{185,0}$	793,4	$\frac{1}{185,0}$	793,4	6 595,4	171 277
$m(s) \cdot (\Phi_{1,x})^2$	7,7	70,2	119,5	370,6	393,2	5 125,8	171 277
$\int m(s) \cdot (\Phi_{1,x})^2 ds$	11,6	116,9	284,6	735,2	1 145,6	5 715,5	171 277
$\int (\Phi_{1,x})^2 ds$	0,01	0,10	0,31	0,70	1,21	1,91	2,67
$m_e [kg/m]$	793	1 130	904	1 058	945	2 994	64 251

Součinitel síly c_f

Trubka:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$$

$$c_{f,0} = 1,2 + 0,18 \cdot \log \left(10 \cdot \frac{k}{b} \right) / 1 + 0,4 \cdot \log \left(\frac{Re}{10^6} \right)$$

$$Re = b \cdot v_{(ze)} / \nu$$

ψ_λ vliv koncového efektu se neuvažuje; $\psi_\lambda = 1,0$;

$c_{f,0}$ součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců;

ν kinematická viskozita vzduchu; $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$;

k ekvivalentní drsnost povrchu; pozinkovaná ocel $k = 0,2 \text{ mm}$;

Re Reynoldsovo číslo;

b průměr průřezu;

Obdélníkový průřez:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \cdot \psi_r$$

$c_{f,0}$ $c_{f,0} = 2,1$ (hodnota z grafu);

ψ_λ vliv koncového efektu se neuvažuje; $\psi_\lambda = 1,0$;

ψ_r vliv zaoblených hran; $\psi_r = 0,73$;

Otevřený průřez:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$$

$$c_{f,0} = 2,1 \text{ (doporučená hodnota);}$$

$$\psi_\lambda \text{ vliv koncového efektu se neuvažuje; } \psi_\lambda = 1,0;$$

Tab. 3.4: Souhrn parametrů pro výpočet součinitele konstrukce $c_s c_d$

Výš. pásma [m]	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	20,0
$v_b \text{ [ms}^{-1}\text{]}$	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5
$c_r(z) \text{ [m]}$	0,54	0,54	0,54	0,58	0,63	0,68	0,70
$k_r \text{ [-]}$	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
$z_0 \text{ [m]}$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$z_{min} \text{ [m]}$	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
$z_{0,II} \text{ [m]}$	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
$c_0(z) \text{ [-]}$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$v_m(z) \text{ [ms}^{-1}\text{]}$	12,14	12,14	12,14	13,10	14,28	15,24	15,79
$I_v(z) \text{ [-]}$	0,43	0,43	0,43	0,40	0,37	0,35	0,33
$k_l \text{ [-]}$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$q_p(z) \text{ [kg/ms}^2\text{]}$	372	372	372	409	457	497	520
$c_s c_d \text{ [-]}$	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,54	1,54
$B^2 \text{ [-]}$	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
$z_s \text{ [m]}$	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
$b \text{ [m]}$	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
$h \text{ [m]}$	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
$L(z) \text{ [m]}$	30,8	30,8	30,8	35,4	41,9	48,1	52,1
$a \text{ [-]}$	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
$z_t \text{ [m]}$	200	200	200	200	200	200	200
$L_t \text{ [m]}$	300	300	300	300	300	300	300
$k_p \text{ [-]}$	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,41	3,39
$v \text{ [Hz]}$	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,30	0,28
$T \text{ [s]}$	600	600	600	600	600	600	600
$n_1 \text{ [Hz]}$	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
$R^2 \text{ [-]}$	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02

S_L [-]	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
f_L [-]	3,75	3,75	3,75	3,99	4,34	4,67	4,89
R_h [-]	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
R_b [-]	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
n_b [-]	4,74	4,74	4,74	4,74	4,74	4,74	4,74
n_h [-]	8,62	8,62	8,62	8,62	8,62	8,62	8,62
δ [-]	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,18	0,21
δ_a [-]	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,13	0,16
δ_s [-]	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
δ_d [-]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
c_f * [-]	0,93	0,94	0,93	0,94	0,94	1,43	1,74
* Pozn.	Hodnoty vážených průměrů pro jednotlivá výšková pásma						

3.3.2 Výpočet spojitých rovnoměrných zatížení w na jednotlivé pruty

Tab. 3.5: Výpočet spojitých rovnoměrných zatížení w na jednotlivé pruty

	$C_s C_d$ [-]	C_f [-]	$C_{f,o}$ [-]	R_e [-]	v_m [ms ⁻¹]	q_p [N]	b [mm]	w [kN/m]
výškové pásmo 3,0 m								
Tr Φ 355,6x10	1,55	0,91	0,91	287 802	12,14	372	355,6	0,19
Tr Φ 219x8	1,55	0,93	0,93	177 246	12,14	372	219,0	0,12
Tr Φ 177,8x6,3	1,55	0,94	0,94	143 901	12,14	372	177,8	0,10
Tr Φ 159x6,3	1,55	0,95	0,95	128 686	12,14	372	159,0	0,09
výškové pásmo 6,0 m								
Tr Φ 355,6x10	1,55	0,91	0,91	287 802	12,14	372	355,6	0,19
Tr Φ 219x8	1,55	0,93	0,93	177 246	12,14	372	219,0	0,12
Tr Φ 177,8x6,3	1,55	0,94	0,94	143 901	12,14	372	177,8	0,10
Tr Φ 159x6,3	1,55	0,95	0,95	128 686	12,14	372	159,0	0,09
výškové pásmo 9,0 m								
Tr Φ 355,6x10	1,55	0,91	0,91	287 802	12,14	372	355,6	0,19
Tr Φ 219x8	1,55	0,93	0,93	177 246	12,14	372	219,0	0,12
Tr Φ 177,8x6,3	1,55	0,94	0,94	143 901	12,14	372	177,8	0,10
Tr Φ 159x6,3	1,55	0,95	0,95	138 875	13,10	409	159,0	0,10

	výškové pásmo 12,0 m							
Tr Φ 355,6x10	1,55	0,92	0,92	310 591	13,10	409	355,6	0,21
Tr Φ 219x8	1,55	0,94	0,94	191 281	13,10	409	219,0	0,13
Tr Φ 177,8x6,3	1,55	0,95	0,95	155 295	13,10	409	177,8	0,11
Tr Φ 159x6,3	1,55	0,96	0,96	151 346	14,28	457	159,0	0,11
	výškové pásmo 15,0 m							
Tr Φ 355,6x10	1,55	0,92	0,92	338 482	14,28	457	355,6	0,23
Tr Φ 219x8	1,55	0,94	0,94	208 458	14,28	457	219,0	0,15
Tr Φ 177,8x6,3	1,55	0,95	0,95	169 241	14,28	457	177,8	0,12
Tr Φ 159x6,3	1,55	0,96	0,96	161 535	15,24	497	159,0	0,12
	výškové pásmo 18,0 m							
Tr Φ 355,6x10	1,54	0,93	0,93	361 270	15,24	497	355,6	0,25
Tr Φ 219x8	1,54	0,95	0,95	222 492	15,24	497	219,0	0,16
Tr Φ 177,8x6,3	1,54	0,96	0,96	180 635	15,24	497	177,8	0,13
Tr Φ 159x6,3	1,54	0,96	0,96	167 424	15,79	520	159,0	0,12
HEA300	1,54	2,00	2,00	-	0,00	497	290,0	0,44
4HR160x160x8	1,54	1,53	2,10	-	0,00	497	160,0	0,19
	výškové pásmo 20,0 m							
Tr Φ 355,6x10	1,54	0,93	0,93	374 440	15,79	520	355,6	0,26
Tr Φ 219x8	1,54	0,95	0,95	230 603	15,79	520	219,0	0,17
Tr Φ 177,8x6,3	1,54	0,96	0,96	187 220	15,79	520	177,8	0,14
Tr Φ 159x6,3	1,54	0,96	0,96	167 424	15,79	520	159,0	0,12
Tr Φ 60x3,2	1,54	1,03	1,03	63 495	15,79	520	60,3	0,05
IPE400	1,54	2,00	2,00	-	0,00	520	400,0	0,64
IPE300	1,54	2,00	2,00	-	0,00	520	300,0	0,48
IPE220	1,54	2,00	2,00	-	0,00	520	220,0	0,35
IPE160	1,54	2,00	2,00	-	0,00	520	160,0	0,26
2x IPE300	1,54	2,00	2,00	-	0,00	520	600,0	0,96

3.3.3 Vítr působící na platformu heliportu

Konstrukce heliportu nemá trvalé stěny, proto je dle normy [3] považována za přístřešek. Pro výpočet je nezbytné stanovit stupeň uzavření průřezu pod platformou heliportu, tzv. součinitel plnosti φ . Ten je určen poměrem plochy možných překážek pod platformou k celé ploše průřezu. Předpokladem je kolmost ploch ke směru větru.

Konstrukce výtahové šachty se schodištěm má za následek jiný součinitel plnosti v uvažovaných směrech, viz obr. 3.4 a 3.5. Výpočet zatížení větrem na platformu heliportu je tedy nutné provést ve směru x i ve směru y .

Součinitele celkové síly c_f a výsledného tlaku $c_{p,net}$ přihlížejí ke kombinovanému účinku větru, působícího na horní a dolní povrchy železobetonové desky pro všechny směry větru.

3.3.3.1 Tlak a sání

Jelikož norma [3] nabízí řešení pouze pro jeden půdorysný tvar sedlové či pultové střechy, bylo zapotřebí půdorysný tvar modifikovat.

Plocha platformy heliportu je dle normy [3] rozdělena na oblasti s různými součiniteli pro tlak a sání větru. Rozměry a tvary oblastí jsou zřejmé z obr. 3.6 a 3.7.

Síly od větru F_w působící na jednotlivé oblasti lze vyjádřit:

Tlak (sání)

$$F_w = c_s c_d \cdot w \cdot A_{ref} \quad (2.1)$$

$$w = q_{(20)} \cdot c_{p,net}$$

$c_s c_d$	součinitel konstrukce;
w	tlak (sání) na dílčí povrch;
A_{ref}	referenční plocha dílčí oblasti;
$q_{(20)}$	maximální dynamický tlak v 20,0 m;
$c_{p,net}$	součinitel výsledného tlaku;

Směr x

Plnost φ

$$\varphi = A/A_c = 128,2/270,2 = 0,475$$

Šířky oblastí A, B a C

$$d = b = 27500 \text{ mm}$$

$$d/10 = 2750 \text{ mm};$$

Směr y

Plnost φ

$$\varphi = A/A_c = 147,5/418,3 = 0,353$$

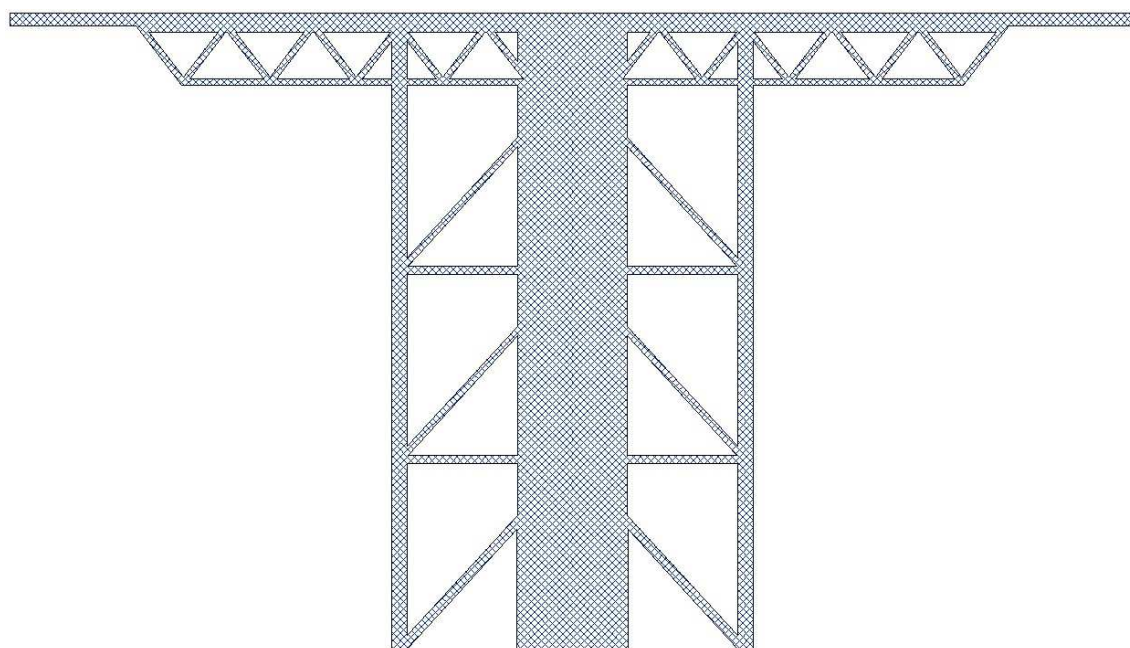
Šířky oblastí A, B a C

$$d = b = 27500 \text{ mm}$$

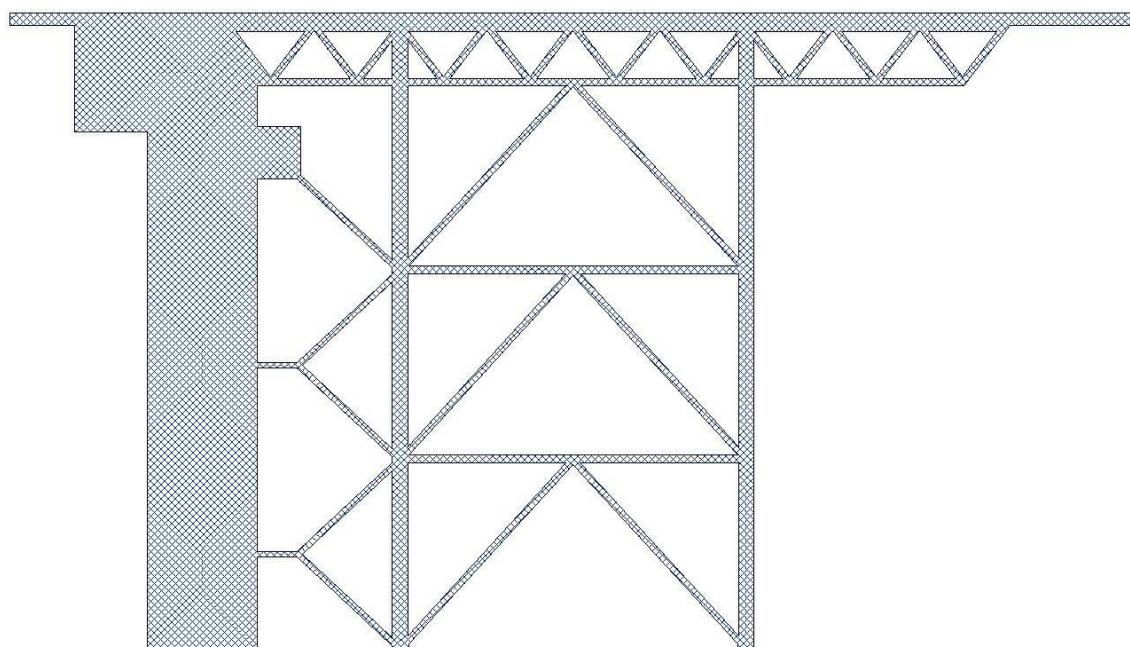
$$d/10 = 2750 \text{ mm};$$

Tab. 3.6: Výpočet plošného zatížení pro jednotlivé oblasti platformy heliportu

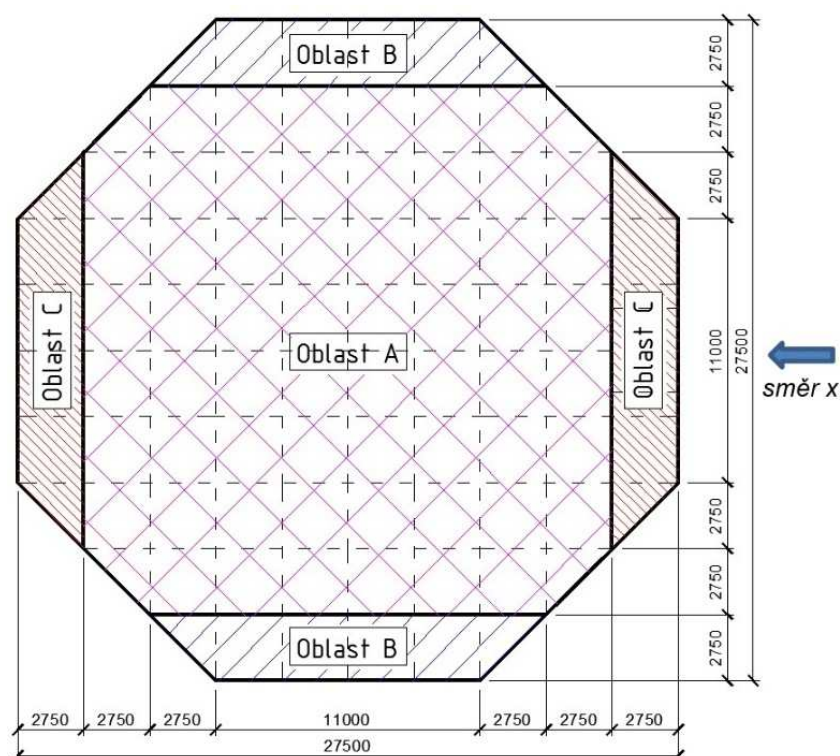
	TLAK						SÁNÍ					
oblast	A		B		C		A		B		C	
směr	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
$c_{p,net} [-]$	0,50	0,50	1,80	1,80	1,10	1,10	1,03	0,92	1,54	1,48	1,78	1,68
$\varphi [-]$	-						$X = 0,457; Y = 0,353$					
$A_{ref} [m^2]$	468,9		37,8		37,8		468,9		37,8		37,8	
$q_{(20)} [N]$	520						520					
$c_s c_d [-]$	1,54						1,54					
$F_w [kN]$	188	188	54	54	33	33	387	345	47	45	54	51
$q [kN/m^2]$	0,40	0,40	1,44	1,44	0,88	0,88	0,82	0,74	1,23	1,19	1,43	1,35



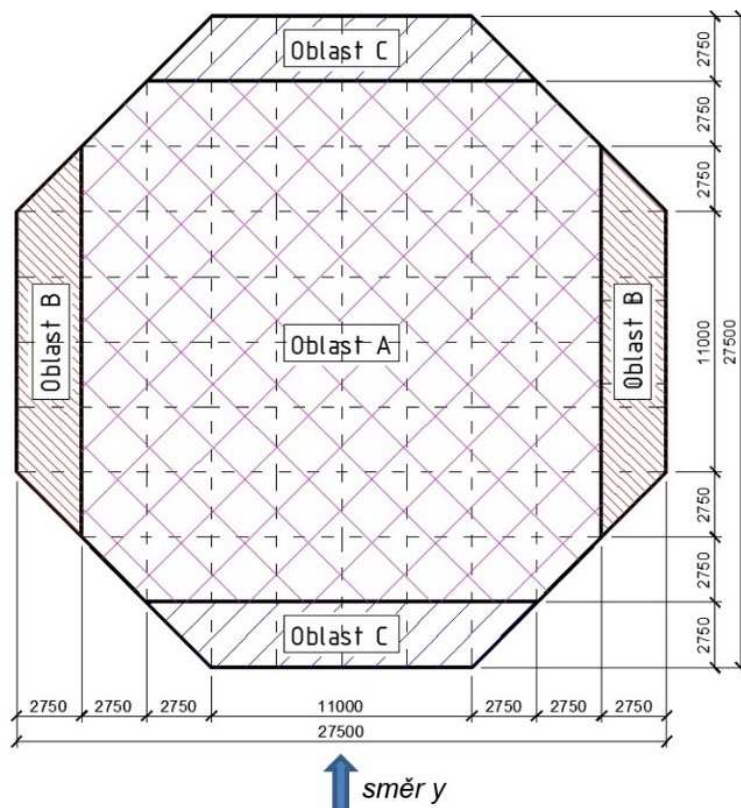
Obr. 3.4: Směr větru X, součinitel plnosti $\varphi = 0,475$



Obr. 3.5: Směr větru Y, součinitel plnosti $\varphi = 0,353$



Obr. 3.6: Směr větru X, rozdělení platformy na různé oblasti tlaku (sání)

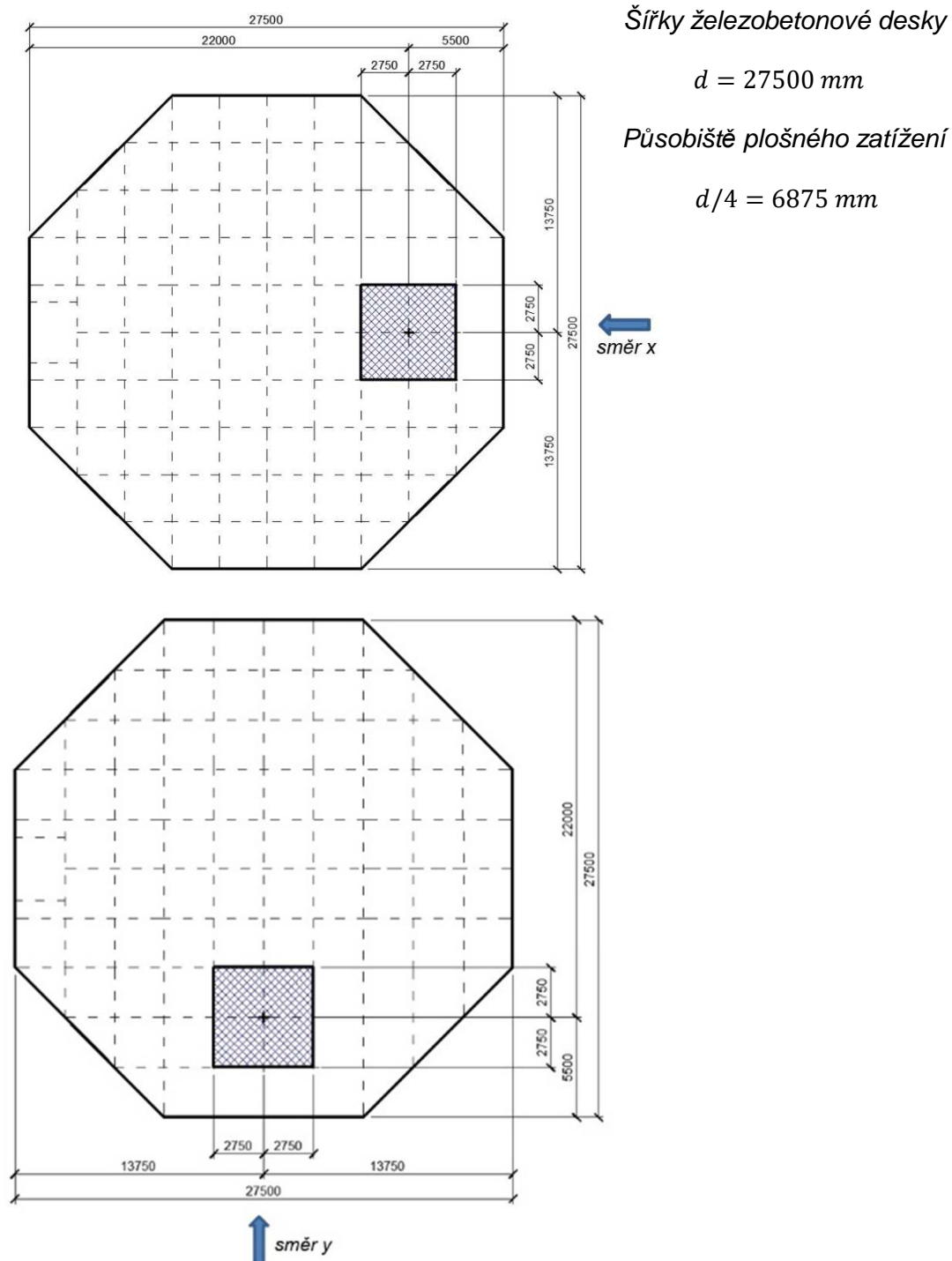


Obr. 3.7: Směr větru Y, rozdělení platformy na různé oblasti tlaku (sání)

3.3.3.2 Lokální zatížení desky

Dalším důsledkem konstrukce typu přístřešku je výrazná lokální síla působící přibližně v ¼ konstrukce, která má snahu stavbu přitížit nebo naopak nadzvednout.

Lokální síla je z důvodu její velikosti převedena na plošné zatížení o rozloze 5,50 m x 5,50 m. Působíště plošného zatížení je d/4 od návětrného směru.



Obr. 3.8: Plošné zatížení od lokálně působící síly

$$F_f = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(20)} \cdot A_f \rightarrow q_f = F_f / (5,5 \cdot 5,5)$$

- F_f výsledná síla;
 c_f součinitel výsledné síly;
 A_f plocha železobetonové desky;
 q_f plošné zatížení železobetonové desky;

Tab. 3.7: Plošné zatížení od lokálně působící síly

		$c_s c_d$	c_f	$q_{(20)}$	A_f	F_f	q_f
		[-]	[-]	[kg/ms ²]	[m ²]	[kN]	[kN/m ²]
Tlak	X	1,54	0,20	520	620,7	99,4	3,29
	Y	1,54	0,20	520	620,7	99,4	3,29
Sání	X	1,54	0,88	520	620,7	437,4	14,46
	Y	1,54	0,78	520	620,7	387,7	12,82

3.3.3.3 Třecí síly od větru působící na platformu heliportu

Účinky tření větru na horní i dolní povrch platformy heliportu nelze dle normy [3] zanedbat, poněvadž plocha železobetonové desky je více než 4x větší než plocha všech prvků kolmých na směr větru. Výstupem výpočtu je výsledná třecí síla, která je přepočtena na plošné zatížení, které je navoleno do výpočetního modelu.

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_{p(20)} \cdot 2 \cdot A_{fr}$$

- F_{fr} výsledná třecí síla;
 c_{fr} součinitel tření, pro hrubý beton; $c_{fr} = 0,02$
 A_{fr} plocha železobetonové desky;
 q_{fr} plošné zatížení železobetonové desky;

Tab. 3.8: Výpočet třecí síly

c_{fr} [-]	$q(20)$ [kg/ms ²]	A_{fr} [m ²]	F_{fr} [kN]	q_{fr} [kN/m ²]
0,02	520	620,7	12,9	0,02

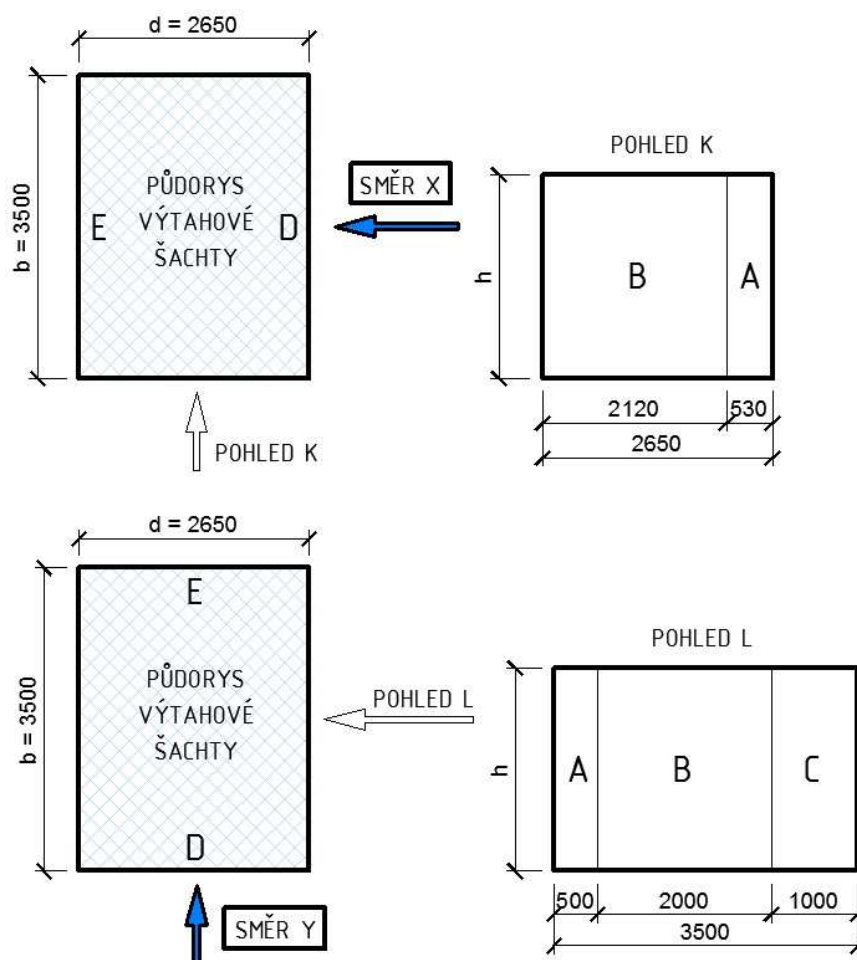
3.3.4 Výtahová šachta

Svislé stěny výtahové šachty byly dle normy [3] rozděleny do oblastí vnějšího tlaku A, B, C, D a E.

$$w = c_{pe} \cdot q_{p(z)}$$

Tab. 3.9: Výpočet vnějšího tlaku w na stěny výtahové šachty

oblasti	$c_{pe,10}$	Výšková pásma [m]						
		3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	20,0
A	-1,2	-0,45	-0,45	-0,45	-0,49	-0,55	-0,60	-0,62
B	-0,8	-0,30	-0,30	-0,30	-0,33	-0,37	-0,40	-0,42
C	-0,5	-0,19	-0,19	-0,19	-0,20	-0,23	-0,25	-0,26
D	0,8	0,30	0,30	0,30	0,33	0,37	0,40	0,42
E	-0,7	-0,26	-0,26	-0,26	-0,29	-0,32	-0,35	-0,36



Obr. 3.9: Výpočet vnějšího tlaku w na stěny výtahové šachty

3.3.5 Odtrhávání vírů

Při obtékání konstrukce ve tvaru štíhlého válce větrem dochází za určitých podmínek k pravidelnému odtrhávání vírů od průřezu střídavě na opačných stranách konstrukce. Konstrukce je tak buzena periodickou silou ve směru kolmém na směr větru s frekvencí, která závisí na rychlosti větru a tvaru průřezu. Tento jev je rovněž znám jako Karmánovo či Strouhalovo kmitání.

Odezva kruhových sloupů $\Phi 355,6 \times 10$ ve směru kolmém na směr větru byla prověřena.

Kritická rychlost větru $v_{crit,i}$

$$v_{crit,i} = b \cdot n_2 / St = 0,3556 \cdot 1,68 / 0,18 = 3,32 \text{ ms}^{-1}$$

b průměr sloupu;

n_2 vlastní frekvence ohybového tvaru kmitání v rovině kolmé na směr větru,

St Strouhalovo číslo;

Do výpočtu byla použita 2. vlastní frekvence, která vykazuje největší hodnotu participace tvaru charakteru posunutí.

Účinek rozkmitání konstrukce je vyjádřen ekvivalentní silou $F_{w(s)}$ pro jeden sloup

$$F_{w(s)} = m(s) \cdot (2\pi \cdot n_2)^2 \cdot \Phi_2(s) \cdot \gamma_{F,max} / 4$$

$$F_{w(s)} = 36050,5 \cdot (2\pi \cdot 1,68)^2 \cdot 0,88 \cdot 0,00152 / 4 = 1,35 \text{ kN/m}$$

$m(s)$ zprůměrovaná kmitající hmotnost konstrukce na jednotku délky kg/m ve výškovém intervalu 15,0 – 20,0 m, viz tab. 3.3;

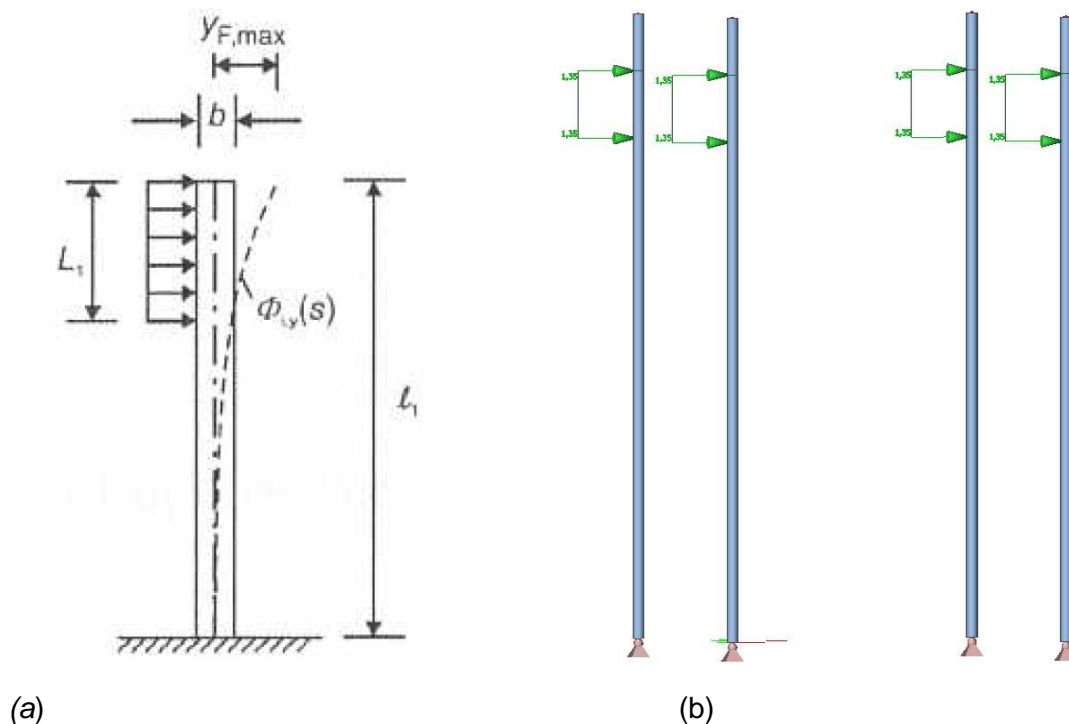
$\Phi_2(s)$ vlastní tvar normovaný na jednotku v bodě maximální výchylky;

$\gamma_{F,max}$ maximální výchylka v bodě, kde $\Phi_2(s)$ je rovno 1, viz tab. 3.3;

Účinná korelační délka L_j

$$L_j = 6 \cdot b = 6 \cdot 0,3556 = 2,134 \text{ m}$$

Zatížení sloupů účinkem rozkmitání konstrukce bylo provedeno na základě podobnosti geometrie 2. vlastní tvaru na obr. 4.3 s jedním z příkladů normy [3] viz obr. 3.10.



Obr. 3.10: (a) Příklad umístění korelační délky v závislosti na tvaru kmitu

(b) Implementované zatížení ve výpočtovém modelu

S ekvivalentní silou $F_{w(s)}$ od účinku rozkmitání konstrukce je uvažováno ve všech větrových zatěžovacích stavech.

Počet zatěžovacích cyklů N

Počet zatěžovacích cyklů N při kmitání způsobeném odtrháváním vírů je dán výrazem:

$$N = 2 \cdot T \cdot n_2 \cdot \varepsilon_0 \cdot (v_{crit}/v_0)^2 \cdot \exp(-(v_{crit}/v_0)^2)$$

$$N = 2 \cdot 50 \cdot 3,16 \cdot 10^7 \cdot 1,68 \cdot 0,3 \cdot (3,32/3,16)^2 \cdot \exp(-(3,32/3,16)^2) = 582,5 \cdot 10^6 \text{ cyklů}$$

$$T \quad T = 3,16 \cdot 10^7 \text{ (životnost v letech = 50 let)}$$

$$\varepsilon_0 \quad \text{součinitel šířky pásma je } \varepsilon_0 = 0,3;$$

$$v_0 \quad v_0 = 0,2 \cdot v_{m(20)} = 0,2 \cdot 15,79 = 3,16 \text{ ms}^{-1}$$

Podle [3] je minimální hodnota $N \geq 10^4$

$$582,5 \cdot 10^6 \text{ cyklů} \gg 10^4 \text{ cyklů}$$

Počet zatěžovacích cyklů výrazně přesahuje minimální hodnotu, navíc lze konstrukci považovat spíše za šroubovanou, proto je porušení na únavu vyloučeno.

3.4 Zatížení vrtulníkem

- Maximální vzletová hmotnost vrtulníku: 6400 kg
- Průměr dosedací plochy: 20,0 m
- Průměr dosedací plochy prověřený výpočtem: 23,0 m

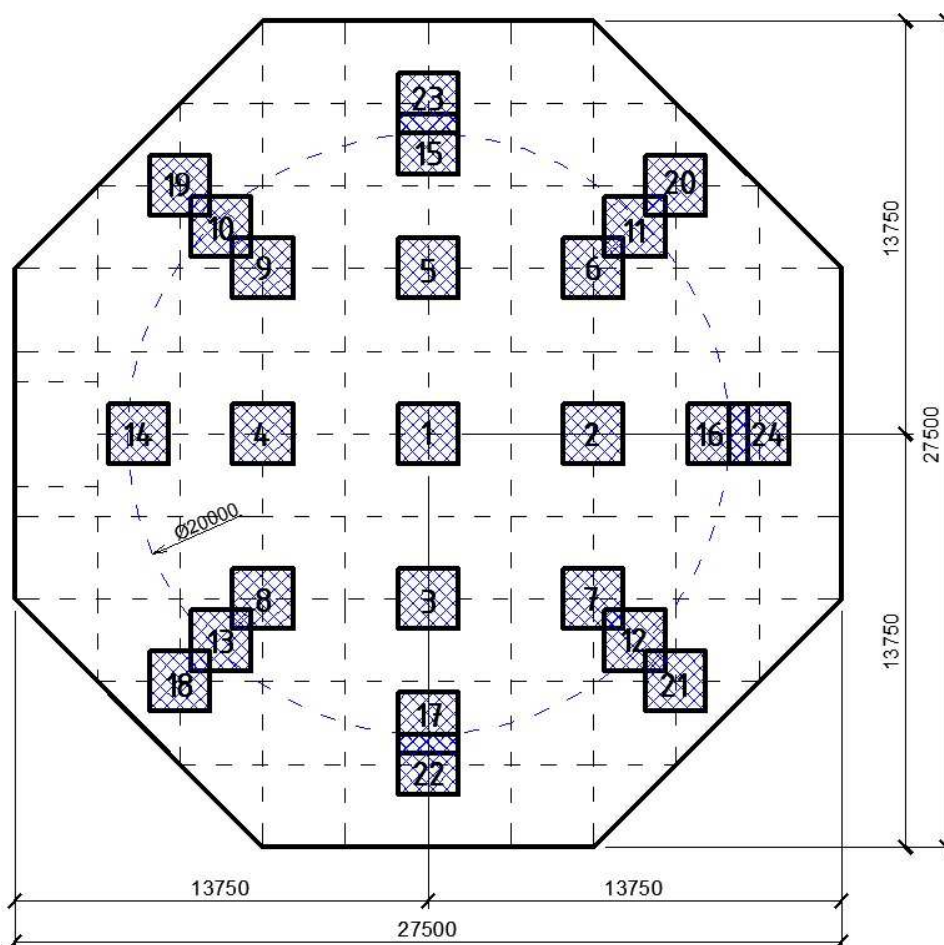
Ekvivalentní svislá statická síla F_d stanovená dle normy [8]

$$F_d = C\sqrt{m} = 3 \cdot \sqrt{6400} = 240,0 \text{ kN}$$

$$C \quad C = 3 \text{ kN} \cdot \text{kg}^{-0,5};$$

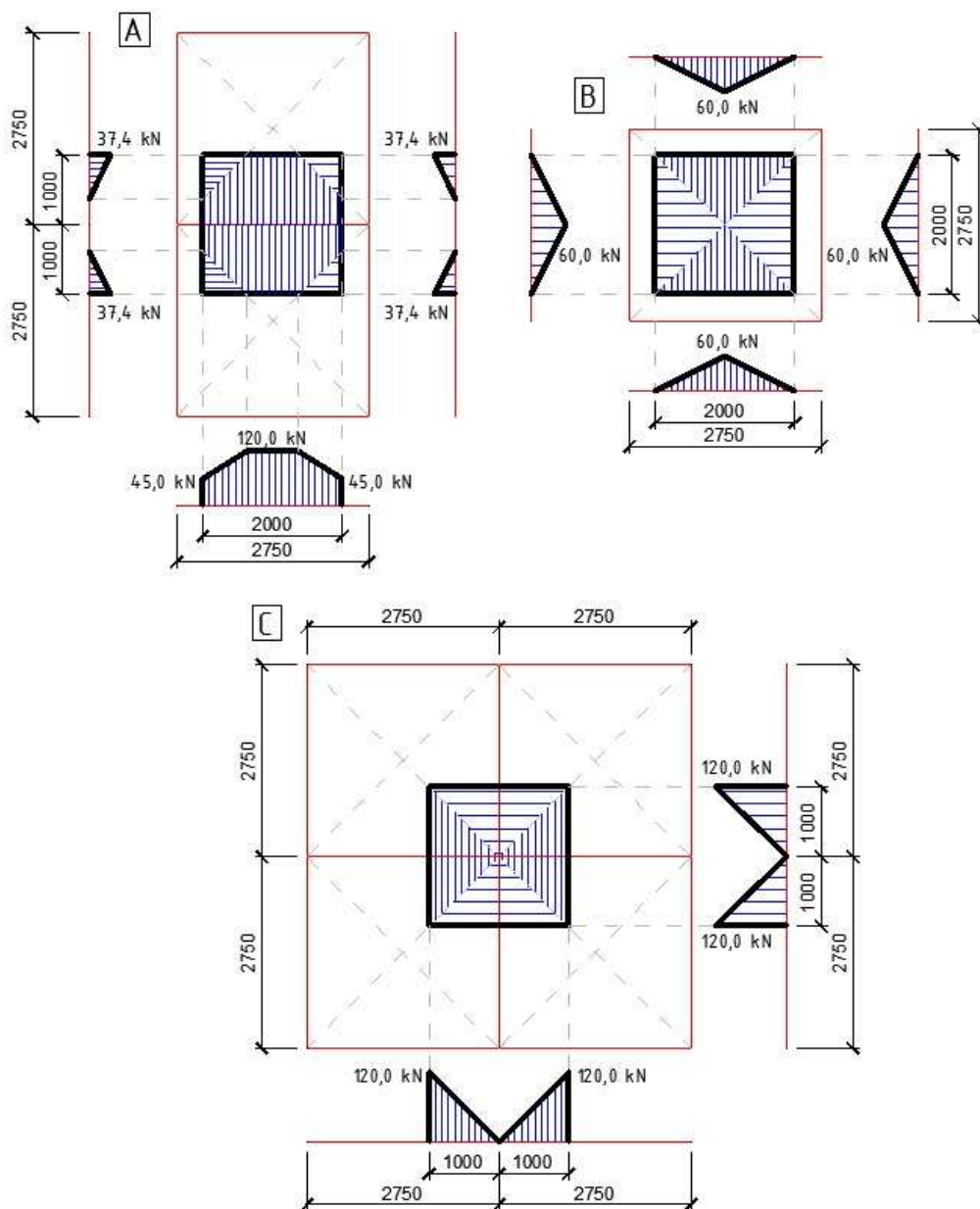
$$m \quad \text{hmotnost vrtulníku [kg];}$$

Norma [8] uvádí, že lze uvažovat zatěžovací plochu o rozměrech 2,0 x 2,0 m. Celkem bylo vytvořeno 24 zatěžovacích stavů, které pokrývají celou dosedací plochu.



Obr. 3.11: Zatěžovací stavy vrtulníku

Roznos zatížení na jednotlivé nosníky roštu nebyl spočítán softwarem, nýbrž ručně podle principu patrného z obr. 3.12. Vyskytují se 3 typy roznosu zatížení – A, B a C.



Obr. 3.12: Roznos zatížení na jednotlivé nosníky roštu

3.5 Zatížení výtahem

Cílem výpočtu bylo vyšetřit na samostatném výpočetním modelu reakce od plně zatíženého výtahu, které byly následně implementovány do výpočetního modelu konstrukce heliportu. I zde platí skutečnost, že řešení výtahu není prioritou této práce, proto je výpočet pouze orientační. Půdorysné rozměry výtahové kabiny jsou 3,2 x 2,0 m. Byly uvažovány 2 zatěžovací stavy.

- 1 ZS vlastní tíha nosné konstrukce výtahu
- 2 ZS vlastní tíha kabiny, $m_1 = 1500 \text{ kg}$, $F_1 = 1500 \cdot 9,81 = 14,7 \text{ kN}$

$$\text{nosnost výtahu, } m_2 = 1500 \text{ kg}, F_2 = 1500 \cdot 9,81 = 14,7 \text{ kN}$$

$$\text{síly od zpomalení, } F_3 = (m_1 + m_2) \cdot \Delta v / \Delta t = 3000 \cdot 2 = 6,0 \text{ kN}$$

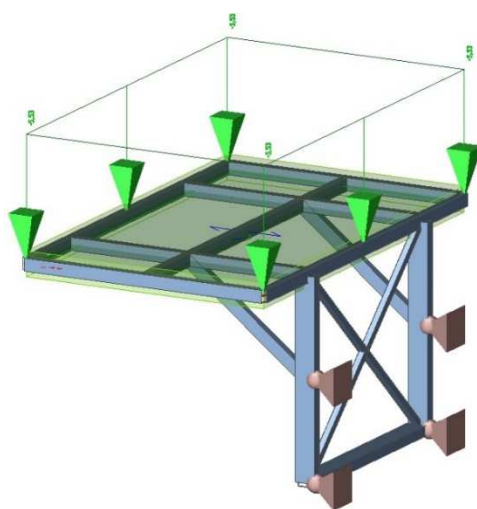
$$\Sigma F = 14,7 + 14,7 + 6,0 = 35,4 \text{ kN}$$

$$\text{Přepočet na plošné zatížení: } q = 35,4 / (2,0 \cdot 3,2) = 5,53 \text{ kN/m}^2$$

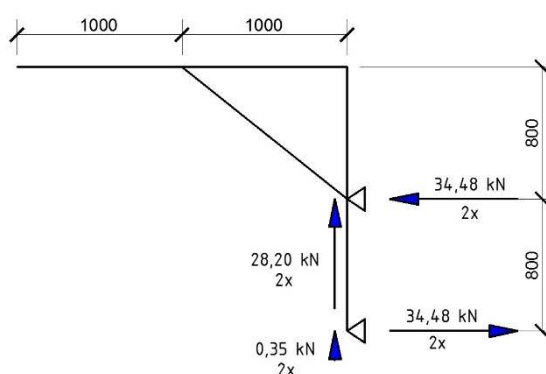
Kombinace: $1,35 \cdot \text{ZS 1} + 1,50 \cdot \text{ZS 2}$

Nosná konstrukce kabiny výtahu je navržena z profilů:

- 4HR 160 x 80 x 5
- 4HR 100 x 60 x 4
- 4HR 50 x 50 x 3



(a)



(b)

Obr. 3.13: (a) Nosná konstrukce výtahu zatížená plošným zatížením

(b) Výsledné reakce

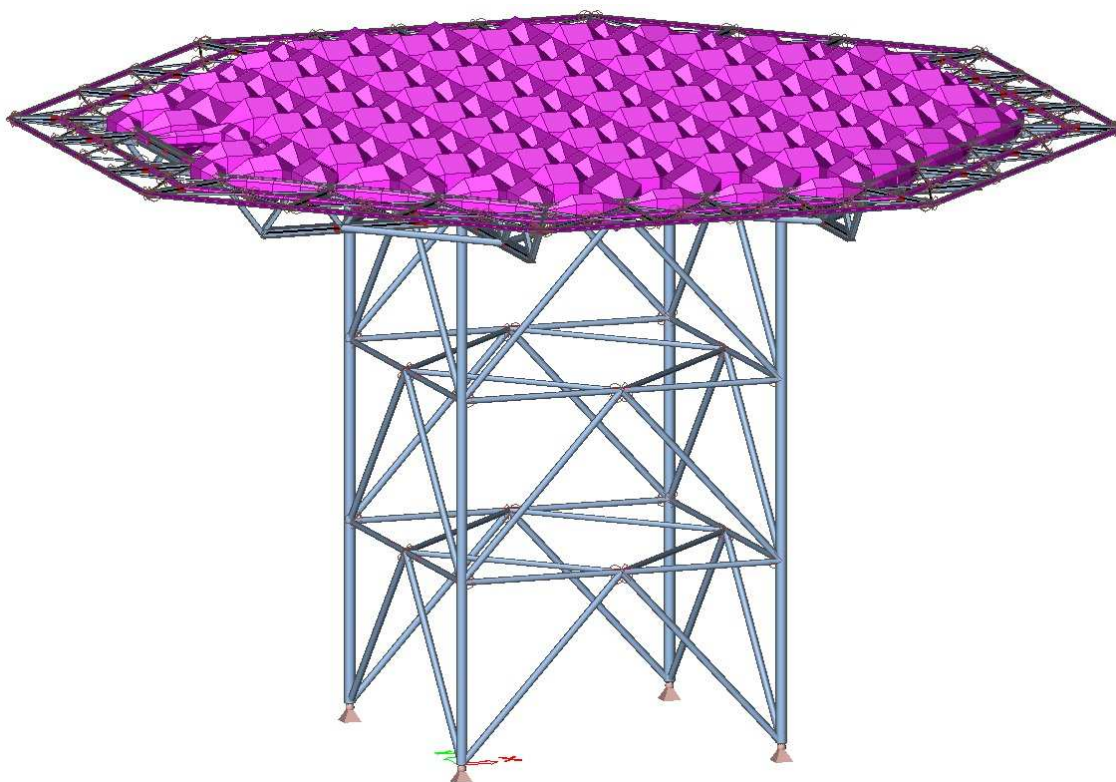
4 DYNAMICKÉ VLASTNOSTI KONSTRUKCE

Konstrukce heliportu ojedinělá svým tvarem, nosným systémem, rozložením hmotnosti a zatížením vrtulníkem byla podrobena z obavy nežádoucího kmitání dynamickým výpočtem. Aplikací modální analýzy byly sledovány vlastní tvary a hodnoty vlastních frekvencí v závislosti na velikosti a směru pohybující hmoty.

Byly vyšetřeny 2 nejpravděpodobnější případy, které mohou konstrukci rozkmitat. Prvním je vítr působící ve vodorovném směru a druhým případem může být náraz vrtulníku při přistání na platformu ve svislém směru.

Pro výpočet byla konstrukce charakterizována dvěma skupinami hmot.

- 1. hmota - vlastní tíha konstrukce
- 2. hmota - tíha ostatního stálého zatížení



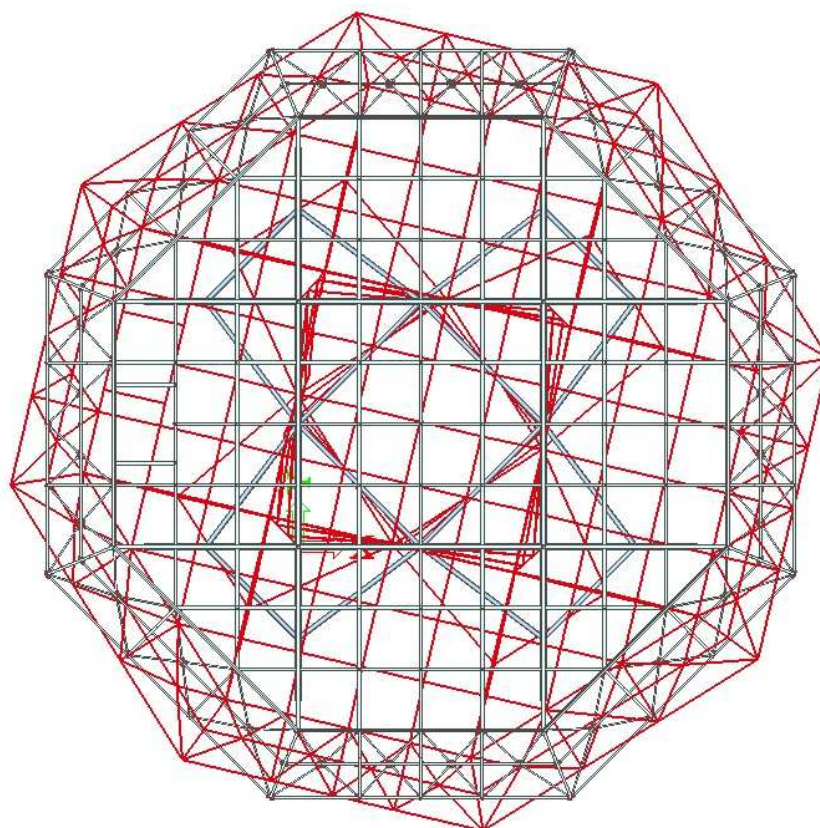
Obr. 4.1: Rozdělení hmoty ostatního stálého zatížení

4.1 Odezva konstrukce na zatížení od větru

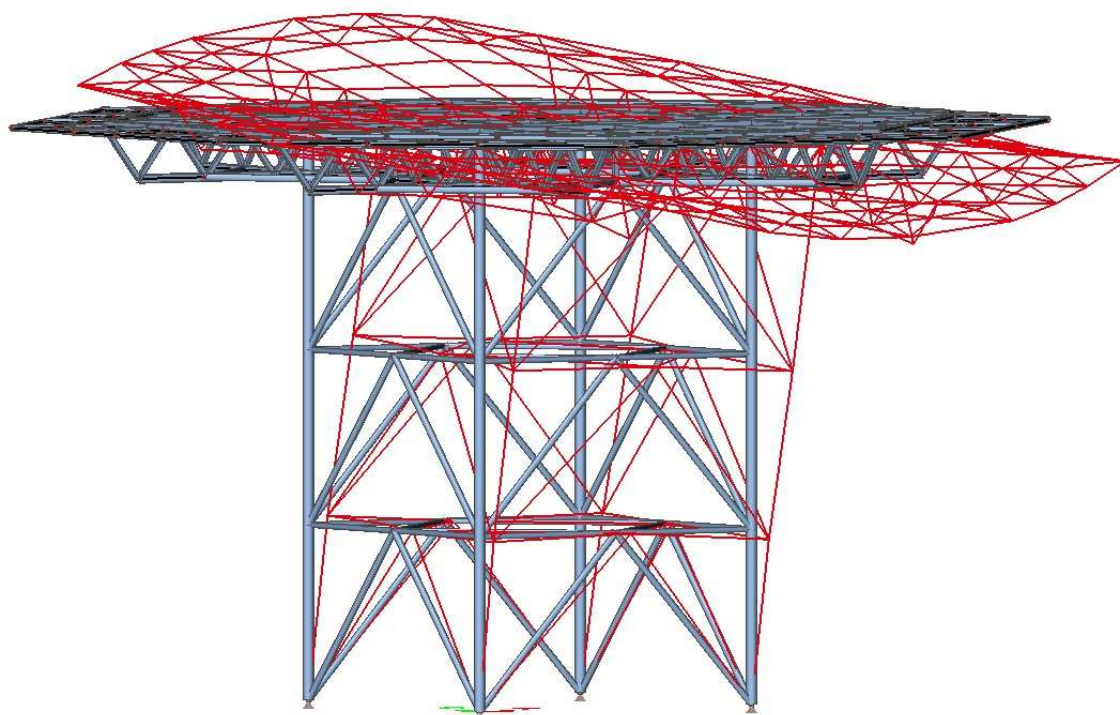
Vliv zvýšení účinků zatížení od kmitání byl zohledněn pomocí dynamického součinitele konstrukce c_d v podkapitole 3.3. Pro jeho stanovení bylo zapotřebí určit vlastní tvar a vlastní frekvenci konstrukce s největšími součiniteli participace tvaru, které definují množství hmoty kmitající v konkrétním vlastním tvaru jako procento celkové hmoty. Celkem bylo generováno 100 vlastních tvarů, které jsou vypsány v příloze. Pro zatížení působící ve vodorovném směru jsou nejvýznačnější první tři vlastní tvary. Pro výpočet byla použita nejnižší vlastní frekvence.

Tab. 4.1: Součinitelé participace tvaru pro první tři vlastní tvary

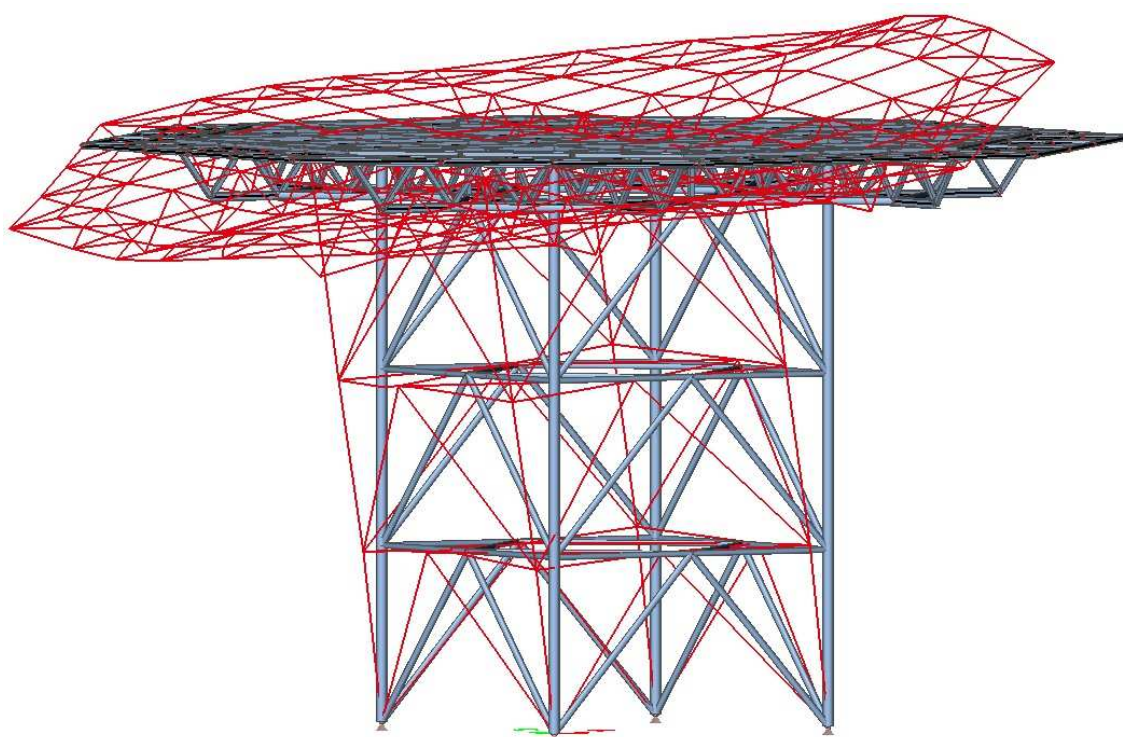
Režim	Ω	Perioda	Frekv.	$W_{xi}/$	$W_{yi}/$	$W_{zi}/$	$W_{xi_R}/$	$W_{yi_R}/$	$W_{zi_R}/$
	[rad/s]	[s ⁻¹]	[Hz]	W_{xtot}	W_{ytot}	W_{ztot}	W_{xtot_R}	W_{ycelk_R}	Spektral
1	9,3577	0,6714	1,4893	0,0005	0,0079	0,0000	0,0013	0,0000	0,9570
2	10,5517	0,5955	1,6794	0,0753	0,7355	0,0000	0,0814	0,0066	0,0169
3	10,7045	0,5870	1,7037	0,7851	0,0943	0,0001	0,0814	0,0066	0,0169



Obr. 4.2: 1. vlastní tvar s charakterem kmitání rotace kolem svislé osy, $n_1 = 1,49$ Hz



Obr. 4.3: 2. vlastní tvar s charakterem posunutí ve směru y, $n_2 = 1,68$ Hz



Obr. 4.4: 3. vlastní tvar s charakterem posunutí ve směru x, $n_3 = 1,70$ Hz

4.2 Odezva konstrukce na náraz vrtulníkem

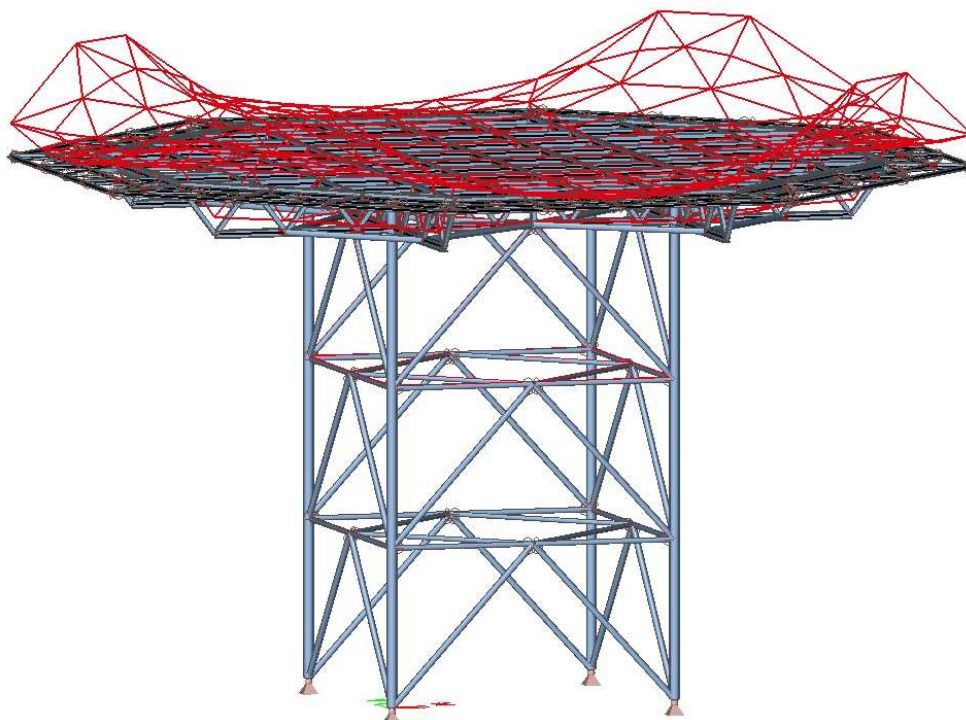
Norma [8] vliv dynamického zatížení od nárazu vrtulníkem vyjadřuje ekvivalentní svislou statickou silou F_d , jejíž hodnota je stanovena vzorcem $F_d = C\sqrt{m}$, kde C je $3 \text{ kN} \cdot \text{kg}^{-0,5}$ a m je hmotnost vrtulníku [kg]. Jiné požadavky norma [8] neurčuje. Autor práce ovšem považuje za žádoucí získat větší představu o chování takto zatížené konstrukce. Proto je zavedena následující analýza, jejíž úkolem je objasnit níže uvedené úlohy.

- Porovnat dynamický součinitel zohledněný ve vzorci $F_d = C\sqrt{m}$ s dynamickým součinitelem spočítaným na základě softwarem provedené modální analýzy
- Zjistit riziko rozkmitání platformy

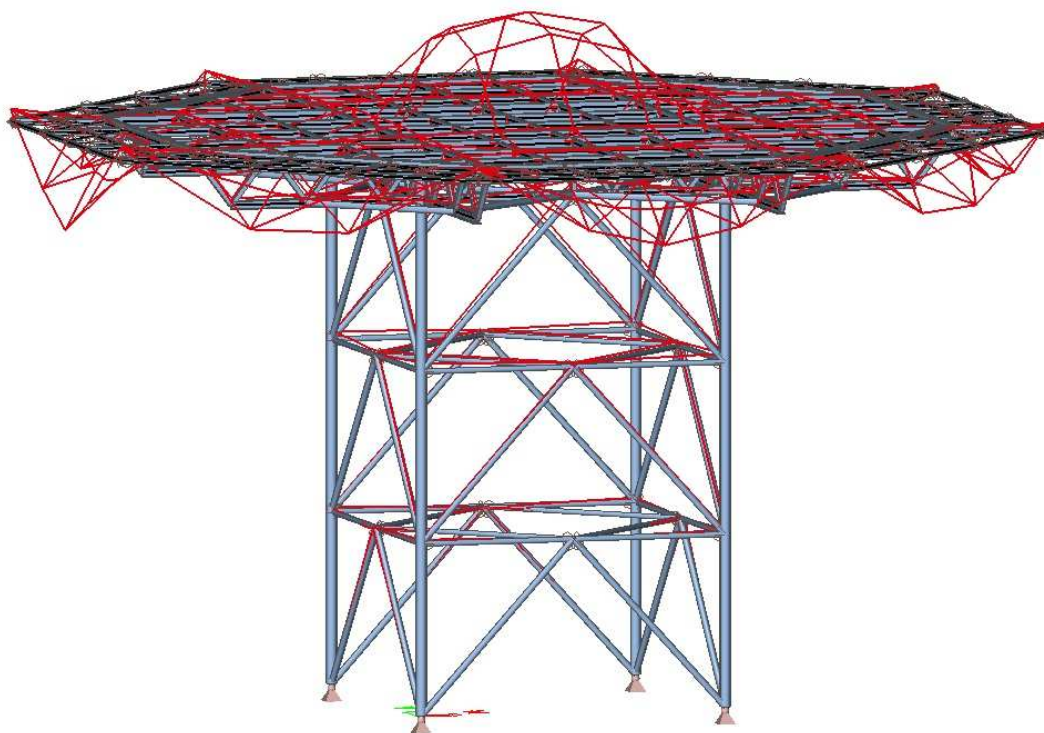
Zatížení působící na platformu heliportu ve svislém směru může způsobit její rozkmitání. Nejpravděpodobněji se tak stane při vlastní frekvenci 3,54 Hz (14. vlastní tvar), kdy ve svislém směru kmitá největší podíl celkové hmoty (40 %). Viz tab. 4.2.

Tab. 4.2: Součinitelé participace tvaru pro 14. a 31. vlastní tvar

Režim	Ω	Perioda	Frekv.	$W_{xi}/$	$W_{yi}/$	$W_{zi}/$	$W_{xi_R}/$	$W_{yi_R}/$	$W_{zi_R}/$
	[rad/s]	[s ⁻¹]	[Hz]	W_{xtot}	W_{ytot}	W_{ztot}	W_{xtot_R}	$W_{y_{celk_R}}$	Spektral
14	22,2485	0,2824	3,5410	0,0000	0,0000	0,4020	0,0000	0,0009	0,0000
31	36,0904	0,1741	5,7440	0,0000	0,0000	0,1629	0,0000	0,0012	0,0000



Obr. 4.5: 14. vlastní tvar s charakterem posunutí ve směru z, $n_{14} = 3,54 \text{ Hz}$



Obr. 4.6: 31. vlastní tvar s charakterem posunutí ve směru z, $n_{31} = 5,74$ Hz

Dynamický součinitel δ zohledněný ve vzorci $F_d = C\sqrt{m}$

Ekvivalentní svislá statická síla: $F_d = C\sqrt{m} = 3 \cdot \sqrt{6400} = 240,0 \text{ kN}$

Tíha vrtulníku: $F_g = m \cdot g = 6400 \cdot 9,81 = 62,8 \text{ kN}$

Dynamický součinitel: $\delta = \frac{F_d}{F_g} = \frac{240,0}{62,8} = 3,82$

Dynamický součinitel spočítaný na základě softwarem provedené modální analýzy

$$\delta = 1/\sqrt{(1-r^2)^2 + (2r\xi)^2}$$

r frekvenční poměr;

ξ útlum ocelové šroubované konstrukce; $\xi = 0,10$ [18];

$$r = f_0/f_b$$

f_0 vlastní frekvence konstrukce [Hz];

f_b budící frekvence [Hz]; zdroj [13] uvádí hodnotu $5 \div 10$ Hz;

Tab. 4.3: Závislost dynamického součinitele na frekvenci budící síly

f_b [Hz]	ξ	$f_{0,14}$ [Hz]	r_{14}	δ_{14}	$f_{0,31}$ [Hz]	r_{31}	δ_{31}
5,00	0,10	3,54	0,71	1,93	5,74	1,15	2,55
5,50	0,10	3,54	0,64	1,67	5,74	1,04	4,41
6,00	0,10	3,54	0,59	1,51	5,74	0,96	4,78
6,50	0,10	3,54	0,54	1,40	5,74	0,88	3,54
7,00	0,10	3,54	0,51	1,33	5,74	0,82	2,73
7,50	0,10	3,54	0,47	1,28	5,74	0,77	2,26
8,00	0,10	3,54	0,44	1,24	5,74	0,72	1,98
8,50	0,10	3,54	0,42	1,20	5,74	0,68	1,78
9,00	0,10	3,54	0,39	1,18	5,74	0,64	1,65
9,50	0,10	3,54	0,37	1,16	5,74	0,60	1,55
10,00	0,10	3,54	0,35	1,14	5,74	0,57	1,47

Shrnutí analýzy dynamické odezvy konstrukce na náraz vrtulníkem:

Hodnota dynamického součinitele stanoveného dle vzorce $F_d = C\sqrt{m}$ je 3,82. Předpokladem pro rozkmitání platformy heliportu je pohyb hmoty ve směru zatížení. Největší pohyb hmot ve svislém směru byl zjištěn pro 14. vlastní tvar. Útlum konstrukce a frekvence odpružení vrtulníku byly stanoveny z odborných zdrojů. Z tab. 4.3 je patrné, že největší dynamický součinitel (1,93) je při útlumu 0,10 vyvozován zatížením s budící frekvencí 5 Hz. Zatížení stanovené dle normy [8] je 2x větší, než kdyby byla konstrukce zatížena podle výsledků z modální analýzy. Heliport je dimenzován na hodnotu z normy [8], tudíž výrazně na stranu bezpečnou. Rezerva by měla být dostatečná i pro nešetné přistání vrtulníku, tzv. tvrdý náraz.

Nejnepříznivější výsledky nastanou, pokud se vlastní frekvence konstrukce shoduje s budící frekvencí. Tento stav je nazýván rezonancí. Byla tedy hledána vlastní frekvence v intervalu 5 ÷ 10 Hz, při které dochází k největšímu pohybu hmot ve svislém směru. Toto kritérium nejlépe vystihuje 31. vlastní tvar s vlastní frekvencí 5,74 Hz a 16% výkmitem hmoty. Takto určený dynamický součinitel dosahuje téměř hodnoty 5. Nicméně vzhledem k malému podílu pohybující hmoty je rozkmitání konstrukce nepravděpodobné. Navíc je nutné si uvědomit, že se nejedná o harmonické zatížení. V takovém případě je energie vzniklá nárazem vrtulníku konstrukcí rychle pohlcena.

5 IMPERFEKCE

Účinky přetvořené geometrie (účinky 2. řádu) se mají uvažovat, jestliže jejich vliv na zvýšení účinků zatížení je významný nebo když podstatně mění chování konstrukce [4].

Účinky 2. řádu se u konstrukce heliportu očekávají, proto jsou imperfekce, z důvodu přehlednosti dokumentu, stanoveny již v této fázi.

Globální imperfekce

Norma [4] povoluje zanedbat globální imperfekce při splnění podmínky:

$$H_{Ed} > 0,15 \cdot V_{Ed}$$

Pro posouzení byla vytvořena kombinace: ZS 1 + ZS 2 + ZS 3 + ZS 5

$$465,2 \text{ kN} \geq 0,15 \cdot 6249,9 \text{ kN} = 937,5 \text{ kN}$$

H_{Ed} vodorovné síly na konstrukci;

V_{Ed} svislé síly;

Globální imperfekce nelze zanedbat.

Imperfekce ve tvaru celkového počátečního naklonění konstrukce

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_n \cdot \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 2/\sqrt{20} \cdot \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 0,00194 \text{ m/m'}$$

ϕ_0 základní hodnota $\phi_0 = 1/200$;

α_n redukční součinitel v závislosti na výšce sloupů; $\alpha_n = 2/\sqrt{h}$;

h výška konstrukce v metrech;

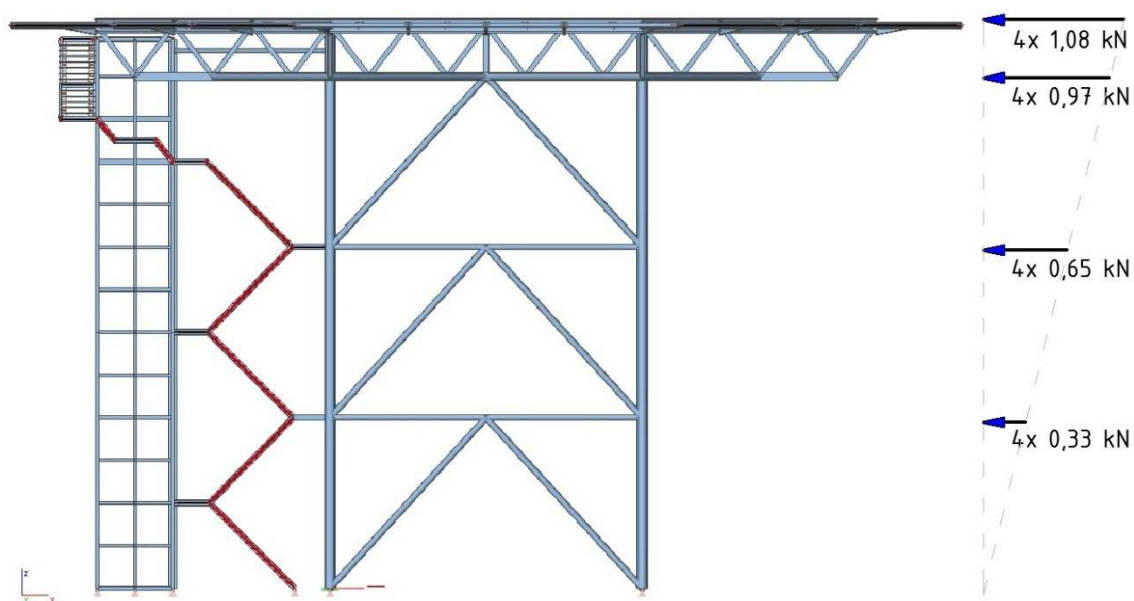
α_m redukční součinitel pro počet sloupů v řadě; $\alpha_m = \sqrt{0,5(1 + \frac{1}{m})}$;

m počet sloupů v řadě;

Účinek naklonění konstrukce je nahrazen ekvivalentní vodorovnou silou:

$$H_\phi = \phi \cdot V_{Ed} = 0,00194 \cdot 6249,9 = 12,1 \text{ kN}$$

Tato ekvivalentní vodorovná síla je rozdělena lineárně po výšce konstrukce do všech sloupových uzlů, viz obr. 5.1.



Obr. 5.1: Ekvivalentní vodorovné síly od účinku naklonění

Lokální imperfekce

Účinky imperfekce prutů jsou začleněny ve vztazích pro výpočet vzpěrné únosnosti v kapitole 9.

6 ZATĚŽOVACÍ STAVY

Tab. 6.1: Skupiny zatížení a zatěžovací stavy

Skupiny zatížení		
SZ1	typ - standard, trvání - stálé	
SZ2	typ - standard, trvání - krátkodobé	
SZ3	typ - společná, trvání - krátkodobé	
SZ4	typ - společná, trvání - krátkodobé	
SZ5	typ - společná, trvání - krátkodobé	
SZ6	typ - společná, trvání - krátkodobé	
SZ7	typ - výběrová, trvání - krátkodobé	

Zatěžovací stavy		
ZS1	Vlastní tíha	LG1
ZS2	Ostatní stálé	LG1
ZS3	Lidé	LG2
ZS4	Vítr +Y, deska sání	LG3
ZS5	Vítr +Y, deska tlak	LG4
ZS6	Vítr +X, deska sání	LG5
ZS7	Vítr +X, deska tlak	LG6
ZS8 - ZS31	Vrtulník 1 - 24	LG7
ZS32	Globální imperfekce (vítr +Y, deska sání)	LG3
ZS33	Globální imperfekce (vítr +Y, deska tlak)	LG4
ZS34	Globální imperfekce (vítr +Y, deska sání)	LG5
ZS35	Globální imperfekce (vítr +Y, deska tlak)	LG6
ZS36	Výtah (vítr +Y, deska sání)	LG3
ZS37	Výtah (vítr +Y, deska tlak)	LG4
ZS38	Výtah (vítr +Y, deska sání)	LG5
ZS39	Výtah (vítr +Y, deska tlak)	LG6
ZS40	Vynulování podlahových roštů	LG2

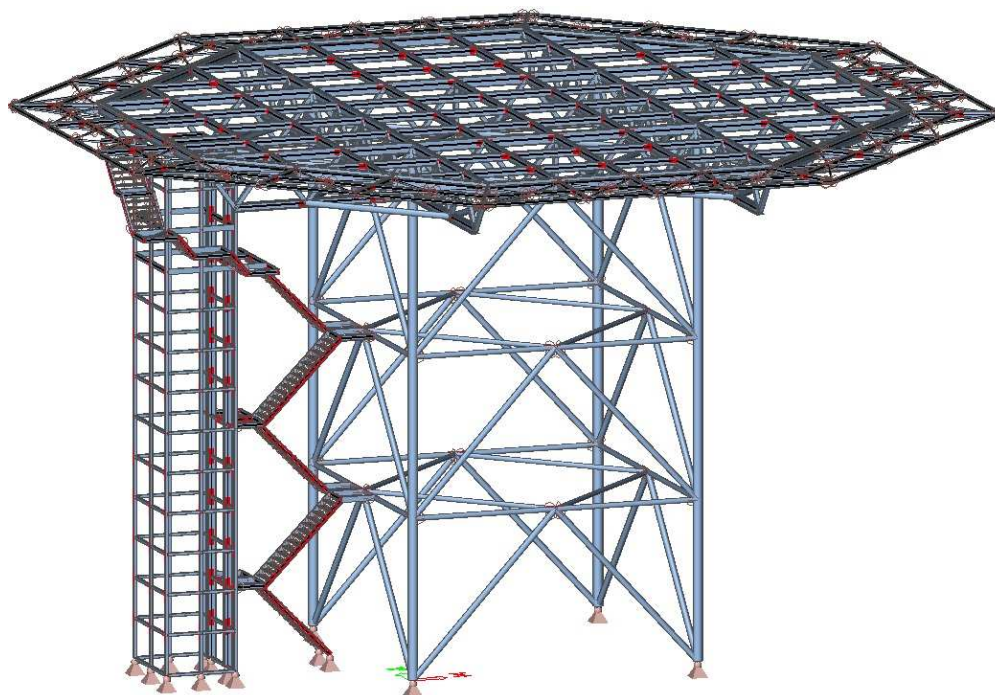
Typ skupiny zatížení má vliv, jak budou jednotlivé zatěžovací stavy vzájemně kombinovány.

Standard: jakékoliv zatěžovací stavy v rámci této skupiny mohou působit společně

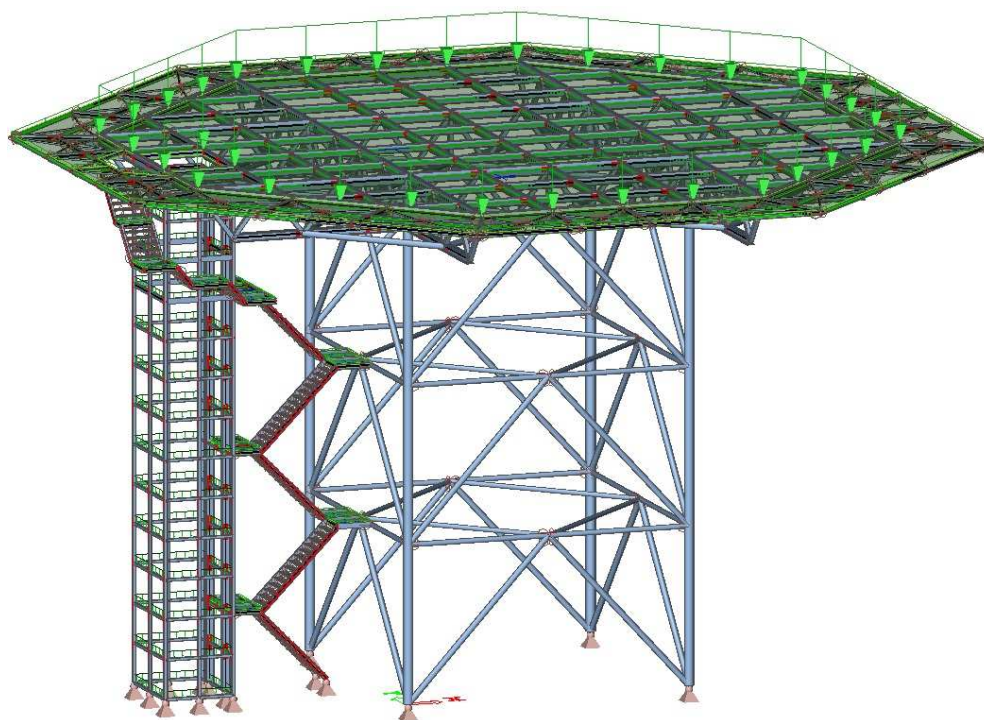
Výběrová: žádné dva zatěžovací stavy v rámci této skupiny nepůsobí společně

Společná: všechny zatěžovací stavy v rámci této skupiny působí společně

ZS 1 – VLASTNÍ TÍHA

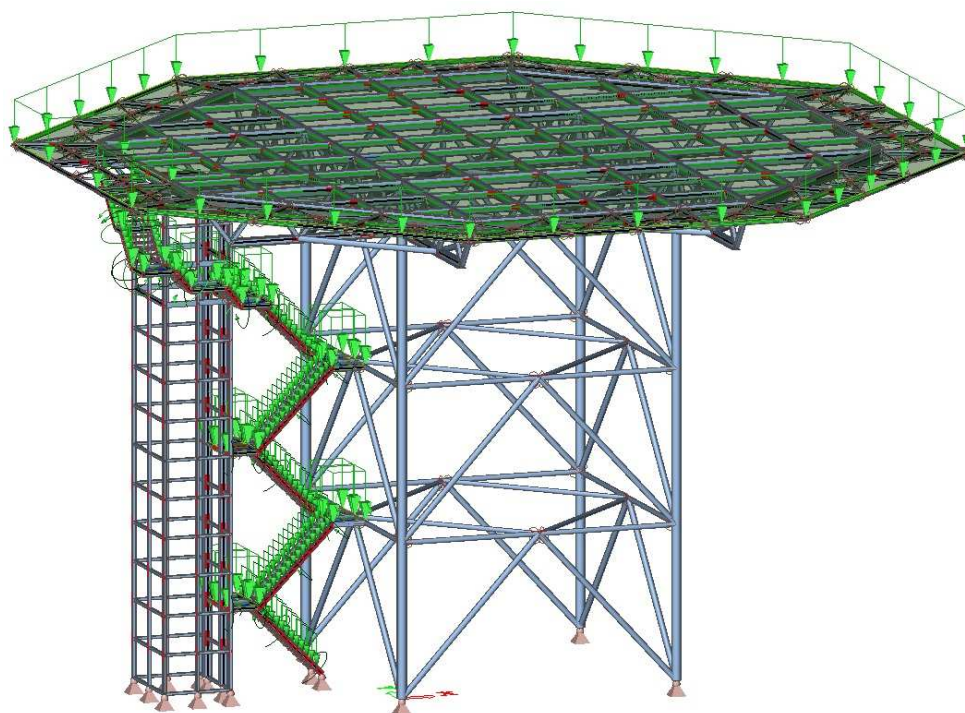


ZS 2 – OSTATNÍ STÁLÉ

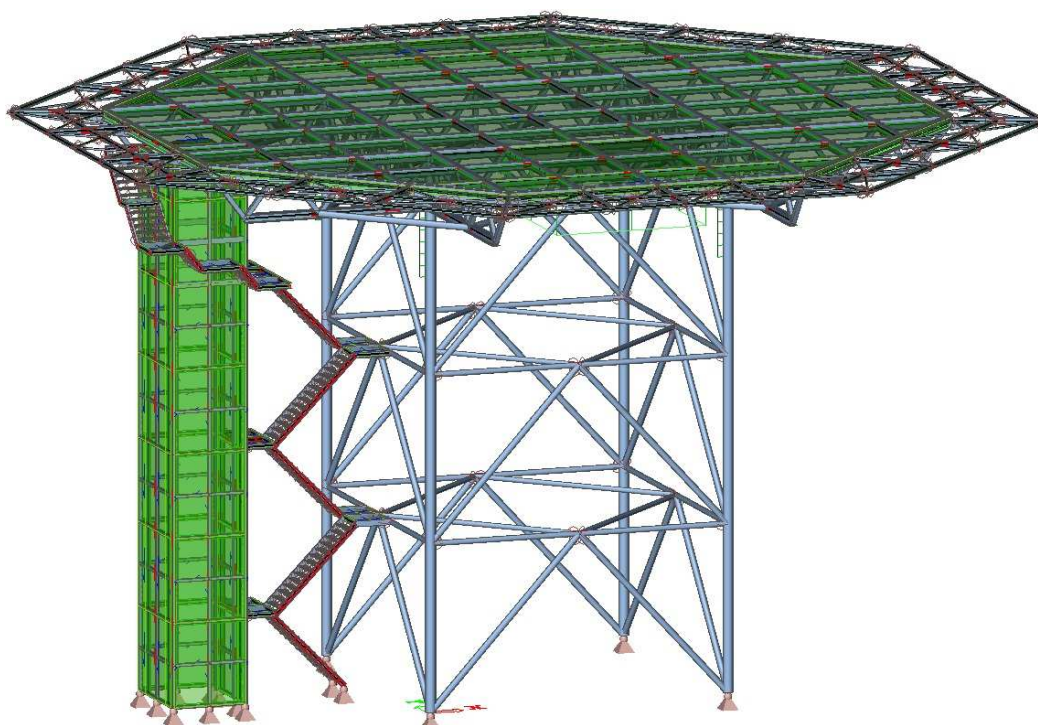


Obr. 6.1: Zatěžovací stav 1 a 2

ZS 3 – LIDÉ

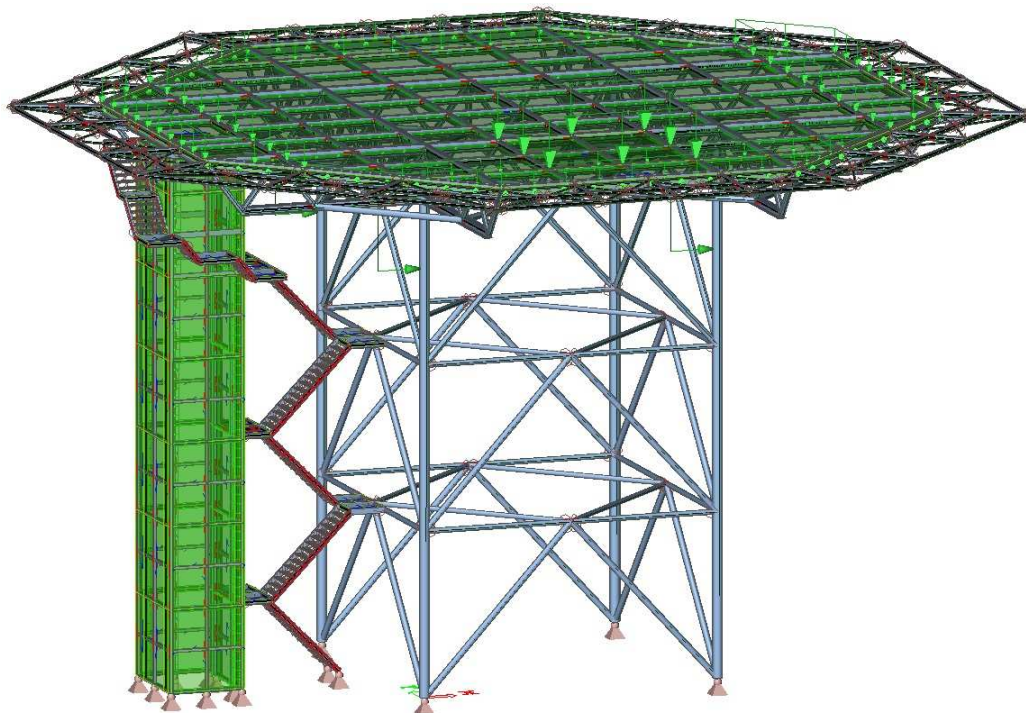


ZS 4 – VÍTR +Y, DESKA SÁNÍ

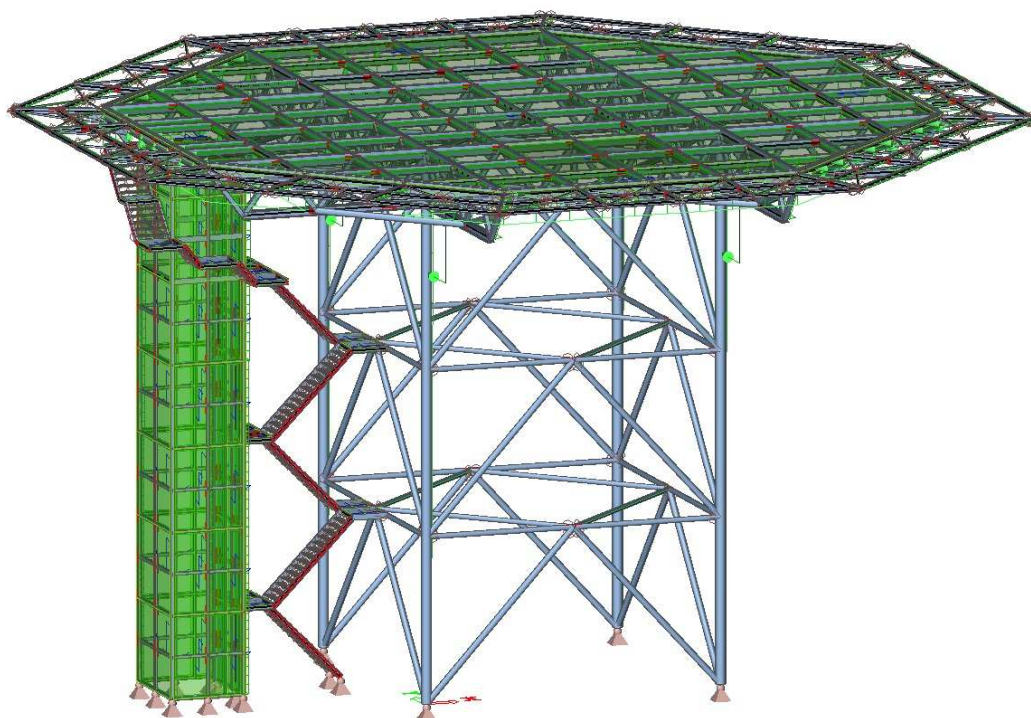


Obr. 6.2: Zatěžovací stav 3 a 4

ZS 5 – VÍTR +Y, DESKA TLAK

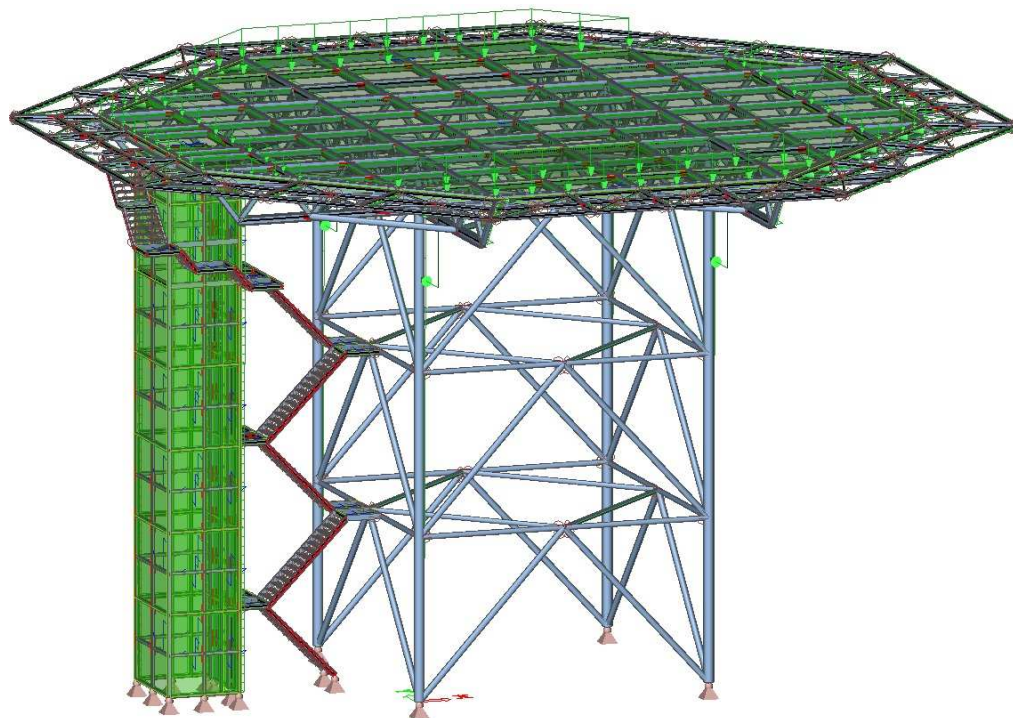


ZS 6 – VÍTR +X, DESKA SÁNÍ

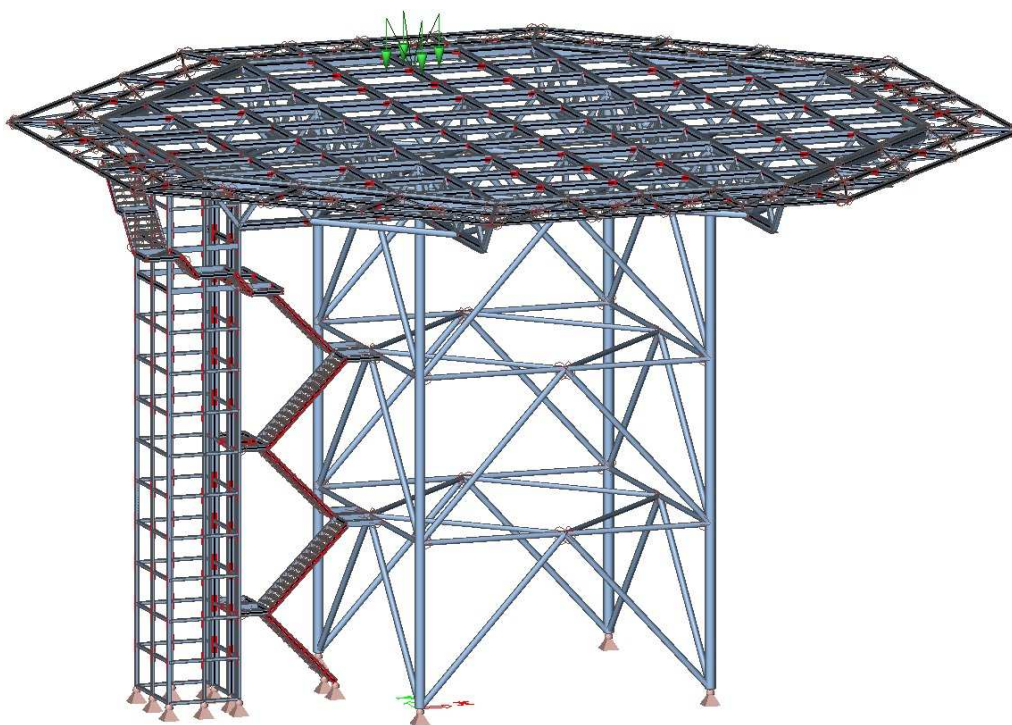


Obr. 6.3: Zatěžovací stav 5 a 6

ZS 7 – VÍTR +X, DESKA TLAK

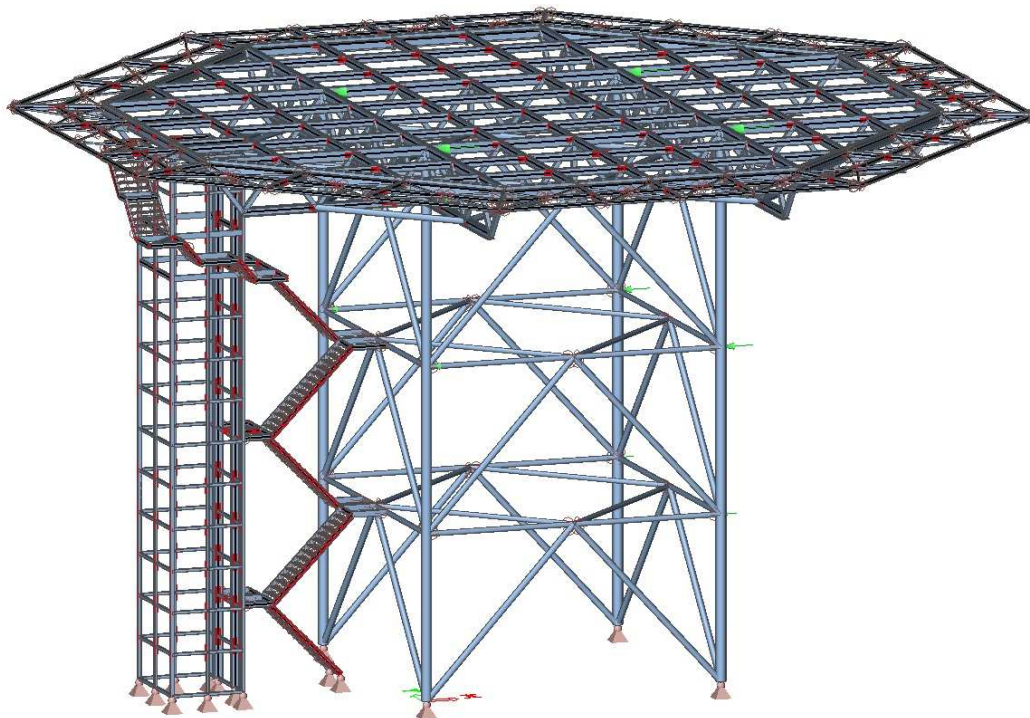


ZS 30 – VRTULNÍK 23

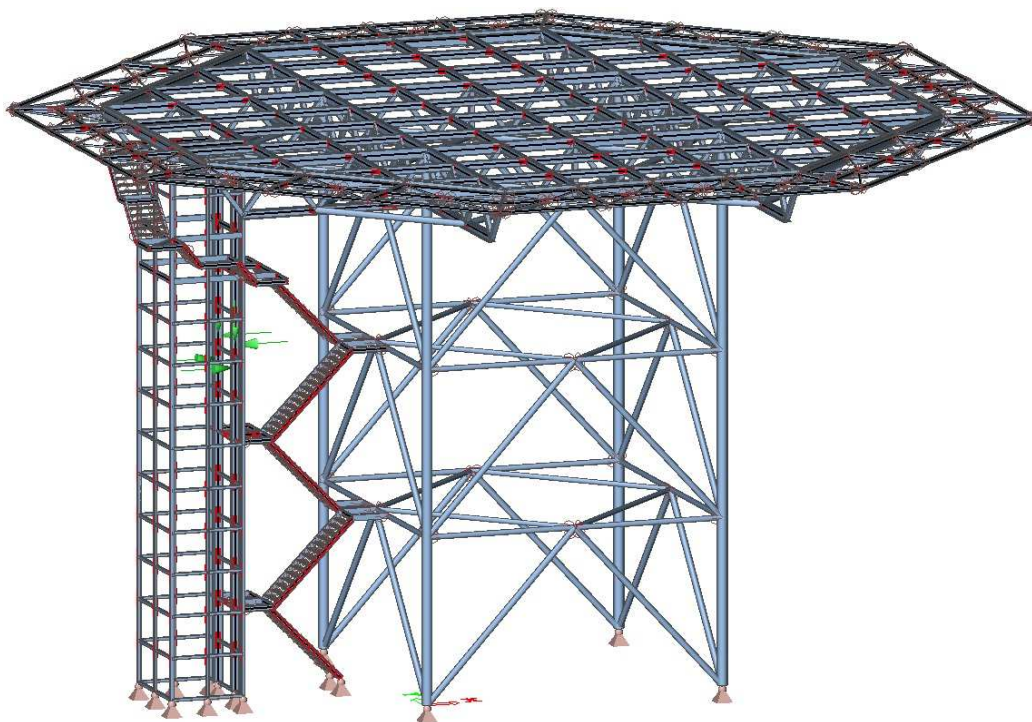


Obr. 6.4: Zatěžovací stav 7 a 30

ZS 34 – GLOBÁLNÍ IMPERFEKCE (VÍTR +Y, SÁNÍ)

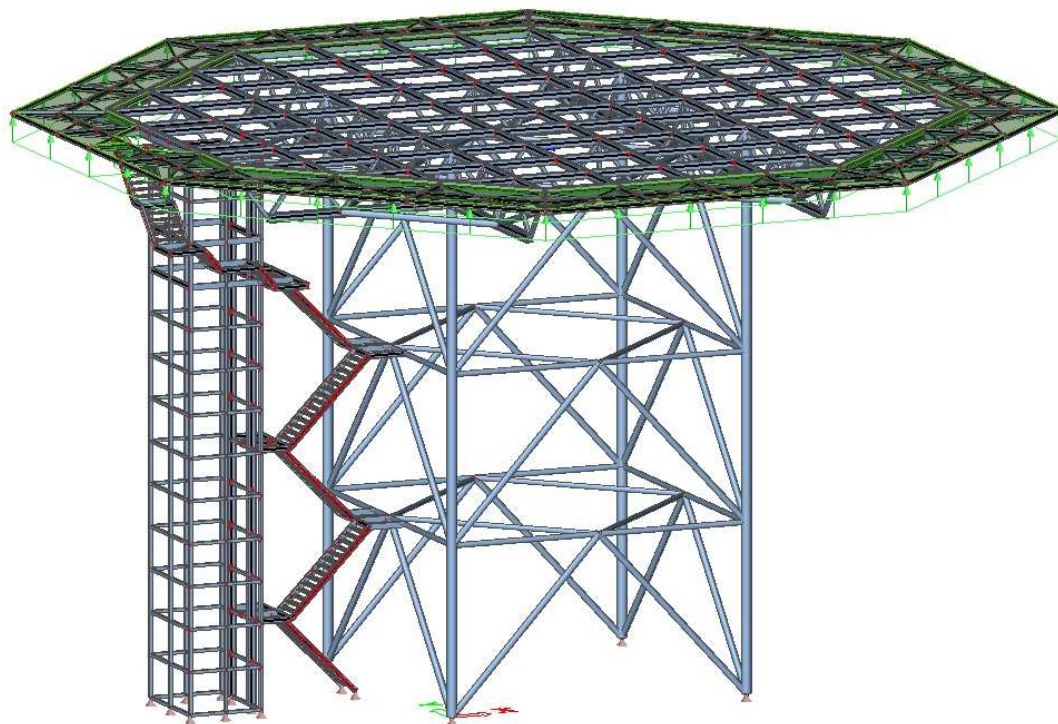


ZS 38 – VÝTAH (VÍTR +Y, SÁNÍ)



Obr. 6.5: Zatěžovací stav 34 a 38

ZS 40 – VYNULOVÁNÍ PODLAHOVÝCH ROŠTŮ



Obr. 6.6: Zatěžovací stav 40

7 KOMBINACE MSÚ

7.1 Kombinace MSÚ pro provozní stav

Kombinace jsou tvořeny v souladu s normou [1] s použitím rovnice:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{rovnice 6.10 [1]}$$

Bylo vytvořeno 16 obálkových kombinačních skupin typu EN–MSÚ STR/GEO Sady B pro provozní stav. Beton je plně spřažen s ocelovou konstrukcí a podílí se na únosnosti konstrukce.

Velký počet typově odlišných zatěžovacích stavů vedl k rozsáhlému množství kombinací. Proto byly vybrány pouze takové kombinace, u kterých bylo vyvozeno podezření na extrémní účinky.

Za hlavní proměnné zatížení ($\gamma_{Q,1} = 1,50$) jsou zvoleny pouze zatěžovací stavy ZS4 – ZS7. Ostatní zatěžovací stavy buď nedosahují takových účinků jako zatížení větrem, anebo jim hlavní působení není z níže uvedených důvodů povoleno.

Pravděpodobnost, že nastane zatěžovací stav ZS3 je velice malá, samotné jeho zavedení do výpočtu bylo diskutabilní, proto se ZS3 považuje pouze jako vedlejší proměnné zatížení ($\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} = 1,50 \cdot 0,70$).

Pro zatěžovací stavy ZS8 – ZS31 stanovuje norma [1] mimořádnou návrhovou situaci, v které jsou součinitele zatížení všech zatěžovacích stavů poníženy na 1,00 či méně. Autor nevnímá působení vrtulníku za mimořádné zatížení, ale jako standardní vedlejší proměnné zatížení, ovšem s jednotkovými hodnotami ($\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} = 1,00 \cdot 1,00$). Výsledky z kombinací, ve kterých vystupuje zatěžovací stav ZS8 – ZS31 jsou tedy výrazně na stranu bezpečnou.

Zatěžovací stavy ZS32 – ZS35 se rovněž uvažují jako vedlejší proměnná zatížení s jednotkovými hodnotami ($\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} = 1,00 \cdot 1,00$).

Součinitele zatížení zatěžovacích stavů ZS36 – ZS39 již byly zahrnuty při jejich stanovení, viz podkapitola 3.5. Proto jsou pojmenovány jako vedlejší proměnná zatížení s jednotkovými hodnotami ($\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} = 1,00 \cdot 1,00$).

Tab. 7.1: Obálkové kombinační skupiny pro provozní stav

1 - A1/0	souč.	1,00	1,00	1,05	1,50	1,00	1,00
	ZS	1	2	3	4	32	36
2 - A2/0	souč.	1,00	1,00	1,05	1,50	1,00	1,00
	ZS	1	2	3	5	33	37
3 - A3/0	souč.	1,00	1,00	1,05	1,50	1,00	1,00
	ZS	1	2	3	6	34	38
4 - A4/0	souč.	1,00	1,00	1,05	1,50	1,00	1,00
	ZS	1	2	3	7	35	39
5 - B1/0	souč.	1,35	1,35	1,05	1,50	1,00	1,00
	ZS	1	2	3	4	32	36
6 - B2/0	souč.	1,35	1,35	1,05	1,50	1,00	1,00
	ZS	1	2	3	5	33	37
7 - B3/0	souč.	1,35	1,35	1,05	1,50	1,00	1,00
	ZS	1	2	3	6	34	38
8 - B4/0	souč.	1,35	1,35	1,05	1,50	1,00	1,00
	ZS	1	2	3	7	35	39
9 - C1/0	souč.	1,00	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00
	ZS	1	2	4	8 - 31	32	36
10 - C2/0	souč.	1,00	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00
	ZS	1	2	5	8 - 31	33	37
11 - C3/0	souč.	1,00	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00
	ZS	1	2	6	8 - 31	34	38
12 - C4/0	souč.	1,00	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00
	ZS	1	2	7	8 - 31	35	39
13 - D1/0	souč.	1,35	1,35	1,50	1,00	1,00	1,00
	ZS	1	2	4	8 - 31	32	36
14 - D2/0	souč.	1,35	1,35	1,50	1,00	1,00	1,00
	ZS	1	2	5	8 - 31	33	37
15 - D3/0	souč.	1,35	1,35	1,50	1,00	1,00	1,00
	ZS	1	2	6	8 - 31	34	38
16 - D4/0	souč.	1,35	1,35	1,50	1,00	1,00	1,00
	ZS	1	2	7	8 - 31	35	39

Všechny obálkové kombinace rozložené na lineární kombinace jsou uvedeny v příloze.

Statický výpočet neuvažuje vzhledem k vyhřívání železobetonové desce zatížení sněhem. V případě poruchy vyhřívacího zařízení simuluje zatížení sněhem zatěžovací stav 3.

7.2 Kombinace MSÚ pro montážní stav

Kombinace jsou tvořeny v souladu s normou [1] s použitím rovnice:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{rovnice 6.10 [1]}$$

Bylo vytvořeno 8 lineárních kombinací typu EN–MSÚ STR/GEO Sady B pro montážní stav. Čerstvý beton působí pouze jako zatížení a nepodílí se žádnou měrou na únosnosti konstrukce.

Montážní stav je rizikový zejména pro spoje prutů platformy, které dokument ověřuje v kapitole 11. Současně je na tyto kombinace posouzen nejvíce namáhaný prut platformy, který je následně posouzen i jako spřažený prut.

Tab. 7.2: Lineární kombinace pro montážní stav

1 – MO A/1	souč.	1,35	1,35	1,50	1,00	1,00	1,35
	ZS	1	2	4	32	36	40
2 – MO A/2	souč.	1,35	1,35	1,50	1,00	1,00	1,35
	ZS	1	2	5	33	37	40
3 – MO A/3	souč.	1,35	1,35	1,50	1,00	1,00	1,35
	ZS	1	2	6	34	38	40
4 – MO A/4	souč.	1,35	1,35	1,50	1,00	1,00	1,35
	ZS	1	2	7	35	39	40
5 – MO B/1	souč.	1,00	1,00	1,50	1,00	1,00	1,35
	ZS	1	2	4	32	36	40
6 – MO B/2	souč.	1,00	1,00	1,50	1,00	1,00	1,35
	ZS	1	2	5	33	37	40
7 – MO B/3	souč.	1,00	1,00	1,50	1,00	1,00	1,35
	ZS	1	2	6	34	38	40
8 – MO B/4	souč.	1,00	1,00	1,50	1,00	1,00	1,35
	ZS	1	2	7	35	39	40

Ochranná zóna platformy, která je tvořena vaznicemi, konzolami, ztužením a podlahovými rošty je z důvodu menšího zatížení montována až po zatvrdnutí betonu. Z tohoto důvodu vstupuje do kombinací zatěžovací stav 40, který nuluje hmotnost podlahových roštů definovaných v zatěžovacím stavu 2.

8 STABILITA A VZPĚRNÉ DÉLKY

8.1 Globální analýza

Velikost konstrukce, subtilnost prutů, dlouhé převislé konce a značné svislé zatížení jsou zjevné předpoklady pro změnu chování konstrukce vlivem zvýšených účinků zatížení od přetvořené geometrie stavby. U nosných prutů zatížených velkými tlakovými silami hrozí stabilitní problémy (vybočení), jež mohou mít za následek destabilizaci či přímo havárii konstrukce. V těchto případech je zcela nezbytné podrobit konstrukci globální analýzou, která určí, jestli je zapotřebí uvažovat účinky druhého řádu.

V prvním kroku byl všem prvkům platformy přiřazen průřez zohledňující ohybovou tuhost železobetonové desky určený v podkapitole 2.2. Dále byly stanoveny nosné pruty namáhané značnými tlakovými silami, které jsou klíčové pro stabilitu konstrukce. Takovými pruty jsou sloupce a dolní pásy příhradových vazníků.

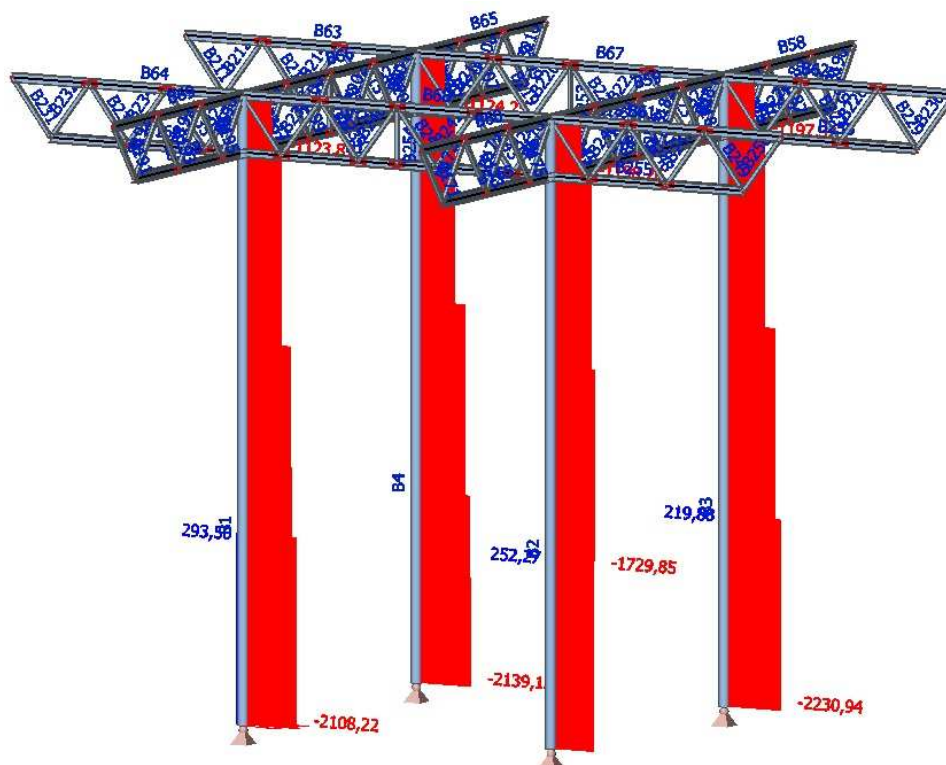
Byly vyhledány kombinace zatěžovacích stavů, jež takové účinky vyvozují. Z těchto kombinací byly vytvořeny stabilitní kombinace pro stabilitní výpočet. Jeho výstupem byly součinitelé vyjadřující zvýšení návrhového zatížení při dosažení ztráty stability v pružném stavu – kritické násobky zatížení.

Kritickým násobkem zatížení byly zvětšeny zatěžovací stavy 4 – 7 a 32 – 35 ve všech obálkových kombinačních skupinách. Současně byly zkontrolovány tvary vybočení sloupů dolních pásů příhradových vazníků.

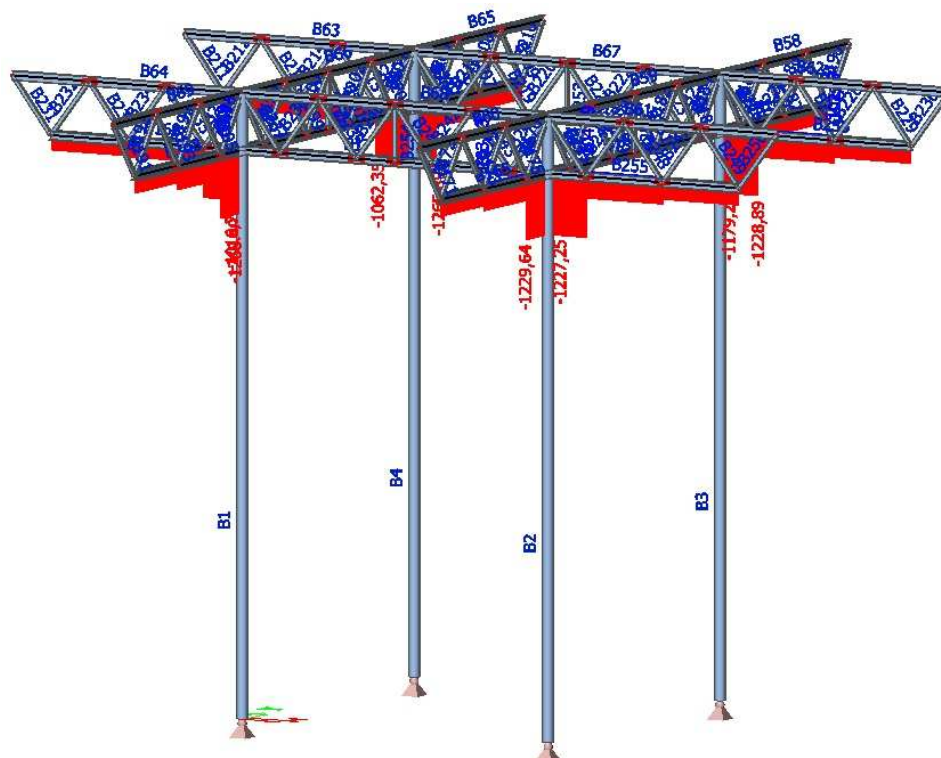
Tab. 8.1: Největší tlakové síly sloupů a dolních pásů příhradových vazníků

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]
B1	CS44 - CHS355.6/10.0	0,000	B4/0/1	-2108,22	B165	CS32 - HEA300	5,500	B2/0/3	-1229,64
B1	CS44 - CHS355.6/10.0	6,000	C1/0/2	293,50	B165	CS32 - HEA300	2,750	C1/0/10	103,03
B2	CS44 - CHS355.6/10.0	6,000	B2/0/3	-1729,85	B166	CS32 - HEA300	0,000	B4/0/1	-1179,22
B2	CS44 - CHS355.6/10.0	6,000	C3/0/4	252,27	B166	CS32 - HEA300	1,375	C1/0/10	-51,55
B3	CS44 - CHS355.6/10.0	0,000	B2/0/3	-2230,94	B167	CS32 - HEA300	5,500	B4/0/1	-1265,89
B3	CS44 - CHS355.6/10.0	6,000	C3/0/5	219,88	B167	CS32 - HEA300	0,000	C1/0/11	-84,09
B4	CS44 - CHS355.6/10.0	0,000	B4/0/1	-2139,13	B168	CS32 - HEA300	0,000	B2/0/3	-1268,49
B4	CS44 - CHS355.6/10.0	18,000	C3/0/6	-530,43	B168	CS32 - HEA300	1,375	C1/0/11	63,91
B5	CS44 - CHS355.6/10.0	0,000	B4/0/1	-1123,81	B169	CS32 - HEA300	0,000	B2/0/3	-1016,77
B5	CS44 - CHS355.6/10.0	1,800	C1/0/7	-82,88	B169	CS32 - HEA300	1,375	C3/0/8	-8,34
B6	CS44 - CHS355.6/10.0	0,000	B4/0/1	-1198,26	B170	CS32 - HEA300	5,500	B2/0/3	-1062,35
B6	CS44 - CHS355.6/10.0	1,800	C1/0/7	-116,27	B170	CS32 - HEA300	2,750	C3/0/12	-10,16
B7	CS44 - CHS355.6/10.0	0,000	B2/0/3	-1197,32	B255	CS32 - HEA300	0,000	B4/0/1	-1227,25
B7	CS44 - CHS355.6/10.0	1,800	C3/0/8	-116,46	B255	CS32 - HEA300	1,375	C3/0/8	104,09
B8	CS44 - CHS355.6/10.0	0,000	B2/0/3	-1124,25	B256	CS32 - HEA300	5,500	B4/0/1	-1228,89
B8	CS44 - CHS355.6/10.0	1,800	C3/0/6	-397,22	B256	CS32 - HEA300	2,750	C3/0/12	102,27
Jméno	Popis kombinací								
1	ZS1-Vlastní tíha*1,35 +ZS2-Ostatní stálé*1,35 +ZS3-Lidé*1,05 +ZS7-Vítr +X, deska tlak*1,50 +ZS35-Glob. imper. (vítr +Y, deska tlak)*1,00 +ZS39-Výtah (vítr +Y, deska tlak)*1,00								
2	ZS1-Vlastní tíha*1,00 +ZS2-Ostatní stálé*1,00 +ZS4-Vítr +Y, deska sání*1,50 +ZS27-vrtulník20*1,00 +ZS32-Glob. imper. (vítr +Y, deska sání)*1,00 +ZS36-Výtah (vítr +Y, deska sání)*1,00								
3	ZS1-Vlastní tíha*1,35 +ZS2-Ostatní stálé*1,35 +ZS3-Lidé*1,05 +ZS5-Vítr +Y, deska tlak*1,50 +ZS33-Glob. imper. (vítr +Y, deska tlak)*1,00 +ZS37-Výtah (vítr +Y, deska tlak)*1,00								

Největší tlakové síly ve sloupech



Největší tlakové síly v dolních pásech převislých konců příhradových vazníků



Obr. 8.1: Největší tlakové síly ve sloupech a dolních pásech konzol příhrad. vazníků

Tab. 8.2: Součinitel kritického zatížení

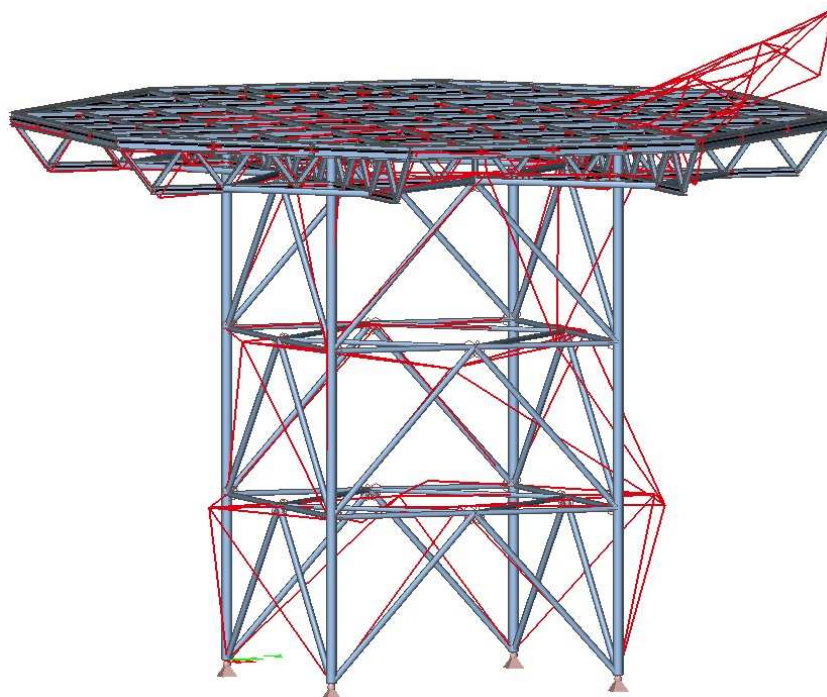
Součinitel zvětšení vybraných ZS

Stabilitní kombinace : S1-B4/2	
1	6,63
2	6,72
3	6,84
4	6,96
5	7,10
Stabilitní kombinace : S2-B2/2	
1	6,38
2	6,58
3	6,64
4	6,95
5	7,11

$$\bar{\omega} = \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{1}{6,38}} = 1,19$$

Je-li $\alpha_{cr} < 10$ nelze zanedbat účinky 2. řádu. Pokud se α_{cr} nachází v intervalu $3; 10 >$ je možné řešit úlohu podle teorie 1. řádu a účinky 2. řádu zohlednit stanovením počátečních imperfekcí a užitím např. metody zvětšení momentů.

Tvar vybočení konstrukce prvního kritického součinitele zatížení, $\alpha_{cr1} = 6,38$



Obr. 8.2: Ztráta stability prvního kritického součinitele zatížení, $\alpha_{cr1} = 6,38$

Stabilitní kombinace S1 a S2

Jméno	S1-B4/2
Obsah kombinace	
ZS1-Vlastní tíha [-]	1,35
ZS2-Ostatní stálé [-]	1,35
ZS3-Lidé [-]	1,05
ZS7-Vítr + X _y deska tlak [-]	1,50
ZS35-Glob. imper. (vítr + Y, des...	1,00
ZS39-Výtah (vítr + Y, deska tlak...	1,00

Jméno	S2-B2/2
Obsah kombinace	
ZS1-Vlastní tíha [-]	1,35
ZS2-Ostatní stálé [-]	1,35
ZS3-Lidé [-]	1,05
ZS5-Vítr + Y, deska tlak [-]	1,50
ZS33-Glob. imper. (vítr + Y, des...	1,00
ZS37-Výtah (vítr + Y, deska tlak...	1,00

Pro stanovení součinitele zvětšení $\bar{\omega}$ byl použit první kritický násobek zatížení ze stability kombinace S2, protože jak je patrné z obr. 8.2, ztráta stability je způsobena vybočením sloupu a konzoly. Zvětšené účinky byly zahrnuty ve všech obálkových kombinačních skupinách, na které byly vybrané pruty v kapitole 9 posouzeny na mezní stav únosnosti.

8.2 Vzpěrné délky

Přesné stanovení vzpěrných délek je problematická záležitost. Lze je určit poměrně přesně na základě hodnot kritického součinitele zatížení. U tlačných prutů se zjišťuje nejnižší tvar jejich vybočení a příslušné hodnoty kritických součinitelů. Současně se kontroluje směr vybočení. Metoda je ovšem pracná a provedení bývá mnohdy chybné.

Heliport je příhradová konstrukce, u které lze vzpěrné délky poměrně přesně určit pomocí základních případů vzpěrných délek záviselých na způsobu uložení. Vzpěrné délky byly tedy stanoveny ručně. Pruty platformy, které jsou plně spřaženy se železobetonovou deskou, nevybočují.

Tab. 8.3: Vzpěrné délky

Sloup B3							
ky	Ly [m]	ly [m]	Posuvný yy	kz	Lz [m]	lz [m]	Posuvný zz
1,000	6,000	6,000	Podle zák ▾	1,000	6,000	6,000	Podle zák ▾
1,000	6,000	6,000	Podle zák ▾	1,000	6,000	6,000	Podle zák ▾
1,000	6,000	6,000	Podle zák ▾	1,000	6,000	6,000	Podle zák ▾
Ztužidlo šikmé B26							
ky	Ly [m]	ly [m]	Posuvný yy	kz	Lz [m]	lz [m]	Posuvný zz
1,000	8,139	8,139	Podle zák ▾	1,000	8,139	8,139	Podle zák ▾
Ztužidlo vodorovné vnější B12							
ky	Ly [m]	ly [m]	Posuvný yy	kz	Lz [m]	lz [m]	Posuvný zz
1,000	5,500	5,500	Podle zák ▾	1,000	5,500	5,500	Podle zák ▾
1,000	5,500	5,500	Podle zák ▾	1,000	5,500	5,500	Podle zák ▾
Ztužidlo vodorovné vnitřní B52							
ky	Ly [m]	ly [m]	Posuvný yy	kz	Lz [m]	lz [m]	Posuvný zz
1,000	7,778	7,778	Podle zák ▾	1,000	7,778	7,778	Podle zák ▾
Ztužení dolního pásu příhradového vazníku B489							
ky	Ly [m]	ly [m]	Posuvný yy	kz	Lz [m]	lz [m]	Posuvný zz
1,000	6,875	6,875	Podle zák ▾	1,000	6,875	6,875	Podle zák ▾

Dolní pás příhradového vazníku B255

ky	Ly [m]	ly [m]	Posuvný yy	kz	Lz [m]	lz [m]	Posuvný zz
1,000	1,375	1,375	Podle zák ▾	1,000	4,125	4,125	Podle zák ▾
1,000	2,750	2,750	Podle zák ▾	1,000	4,125	4,125	Podle zák ▾
1,000	2,750	2,750	Podle zák ▾	2,000	2,750	5,500	Podle zák ▾

Horní pás příhradového vazníku

Provozní stav: Díky plnému spřažení ke vzpěru nedochází. Montážní stav viz níže.

ky	Ly [m]	ly [m]	Posuvný yy	kz	Lz [m]	lz [m]	Posuvný zz
1,000	2,750	2,750	Podle zák ▾	1,000	2,750	2,750	Podle zák ▾
1,000	2,750	2,750	Podle zák ▾	1,000	2,750	2,750	Podle zák ▾
1,000	2,750	2,750	Podle zák ▾	1,000	2,750	2,750	Podle zák ▾

Ztužení příhradových nosníků B175

ky	Ly [m]	ly [m]	Posuvný yy	kz	Lz [m]	lz [m]	Posuvný zz
0,800	2,265	1,812	Podle zák ▾	0,800	2,265	1,812	Podle zák ▾

Uložení prutu je modelované jako tuhé, tudíž by měly být součinitelé vzpěru 0,5, ale to se nepředpokládá a na stranu bezpečnou je uvažováno s hodnotou 0,8.

Rošt platformy B107

Provozní stav: Díky plnému spřažení ke vzpěru nedochází. Montážní stav viz níže.

ky	Ly [m]	ly [m]	Posuvný yy	kz	Lz [m]	lz [m]	Posuvný zz
0,500	5,500	2,750	Podle zák ▾	1,000	2,750	2,750	Podle zák ▾

Obvodový nosník roštu platformy B129

Provozní stav: Díky plnému spřažení ke vzpěru nedochází. Montážní stav viz níže.

ky	Ly [m]	ly [m]	Posuvný yy	kz	Lz [m]	lz [m]	Posuvný zz
0,250	11,000	2,750	Podle zák ▾	1,000	2,750	2,750	Podle zák ▾
0,250	11,000	2,750	Podle zák ▾	1,000	2,750	2,750	Podle zák ▾
0,250	11,000	2,750	Podle zák ▾	1,000	2,750	2,750	Podle zák ▾
0,250	11,000	2,750	Podle zák ▾	1,000	2,750	2,750	Podle zák ▾

Vaznice ochranné zóny platformy B435

ky	Ly [m]	ly [m]	Posuvný yy	kz	Lz [m]	lz [m]	Posuvný zz
0,363	14,153	5,132	Podle zák ▾	1,000	5,132	5,132	Podle zák ▾

Konzola ochranné zóny platformy B257

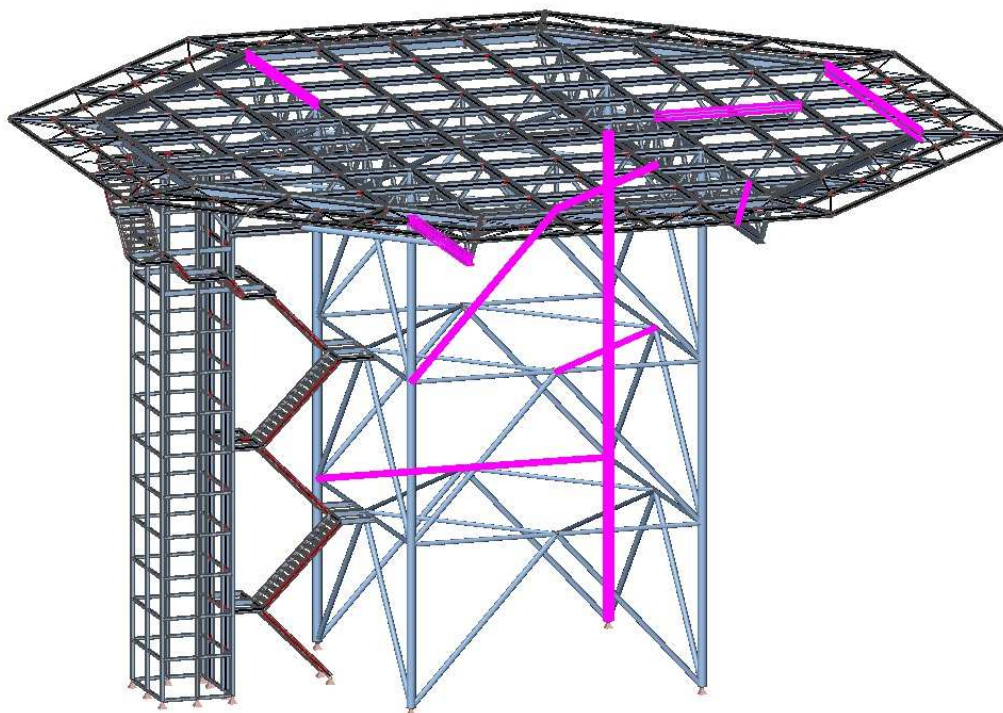
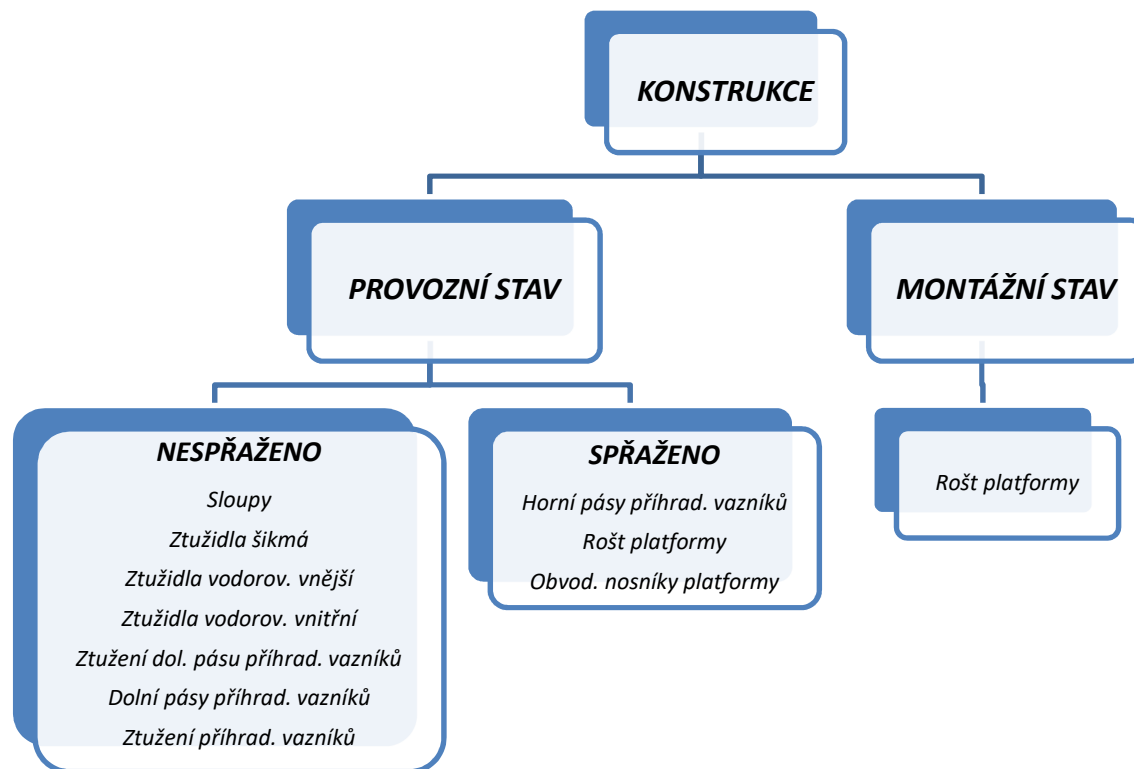
ky	Ly [m]	ly [m]	Posuvný yy	kz	Lz [m]	lz [m]	Posuvný zz
1,500	3,247	4,871	Podle zák ▾	1,500	1,624	2,435	Podle zák ▾
1,500	3,247	4,871	Podle zák ▾	1,500	1,624	2,435	Podle zák ▾

Ztužení ochranné zóny platformy B357

ky	Ly [m]	ly [m]	Posuvný yy	kz	Lz [m]	lz [m]	Posuvný zz
1,000	1,839	1,839	Podle zák ▾	1,000	1,839	1,839	Podle zák ▾

9 POSOUZENÍ VYBRANÝCH PRUTŮ NA MSÚ

Ručním výpočtem jsou posouzeny všechny typy prutů dle níže uvedeného schématu.



Obr. 9.1: Posouzené pruty na MSÚ

9.1 Provozní stav - nespřážené pruty

9.1.1 Sloup B3 (kom. NK B2/2)

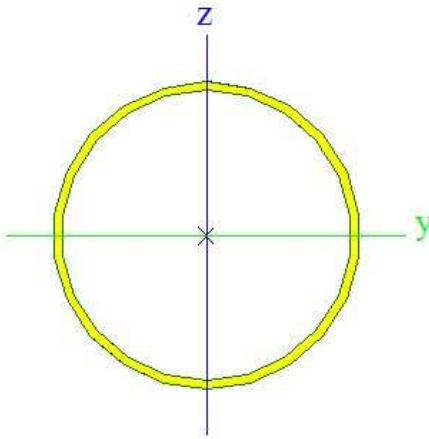
N_{Ed}	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	T_{Ed}	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
-2334,97	-0,11	-0,48	0,02	-1,81	1,60

Průřez. charakteristiky – Ø355,6 x 10

A	$1,0900 \cdot 10^{-2}$	m^2
A_y	$6,9120 \cdot 10^{-3}$	m^2
A_z	$6,9120 \cdot 10^{-3}$	m^2
I_y	$1,6220 \cdot 10^{-4}$	m^4
I_z	$1,6220 \cdot 10^{-4}$	m^4
I_t	$3,2450 \cdot 10^{-4}$	m^4
I_ω	0,0000	m^6
$W_{el,y}$	$9,1200 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{el,z}$	$9,1200 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{pl,y}$	$1,1759 \cdot 10^{-3}$	m^3
$W_{pl,z}$	$1,1759 \cdot 10^{-3}$	m^3
i_y	0,122	m
i_z	0,122	m
Třída průřezu 1		

Materiál – Ocel S355

E	$210 \cdot 10^9$	Pa
G	$81 \cdot 10^9$	Pa
f_{yk}	$355 \cdot 10^6$	Pa
f_{uk}	$510 \cdot 10^6$	Pa



Obr. 9.2: Průřez sloupu B3

Posudek pevnosti

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{2335,0}{3869,5} = 0,60 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,0900 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 3869,5 \text{ kN}$$

Posudek stability

Vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 6,000 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,6220 \cdot 10^{-4}}{6,000^2} = 9338,3 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6,000}{0,122} = 49,18$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,0900 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{9338300}} = 0,644$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,644 - 0,2) + 0,644^2] = 0,816$$

Křivka vzpěrné pevnosti $\alpha \rightarrow \alpha = 0,21$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,816 + \sqrt{0,816^2 - 0,644^2}} = 0,759$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,759 \cdot 1,0900 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 2937,0 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{2335,0}{2937,0} = 0,80 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Klopení

Kruhové průřezy nejsou citlivé na klopení.

Ohybové momenty a posouvající síly jsou zanedbatelné, proto nebyly podrobeny pevnostnímu a stabilitnímu posouzení.

9.1.2 Ztužidlo šikmé B26 (kom. NK D4/3)

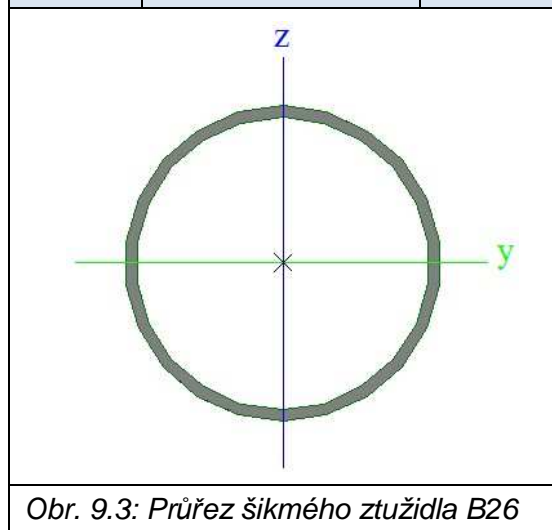
N_{Ed}	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	T_{Ed}	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
-504,32	0,00	0,71	-0,30	0,00	0,00

Průřezové charakteristiky – Ø219 x 8

A	$5,3060 \cdot 10^{-3}$	m^2
A_y	$3,3776 \cdot 10^{-3}$	m^2
A_z	$3,3776 \cdot 10^{-3}$	m^2
I_y	$2,9596 \cdot 10^{-5}$	m^4
I_z	$2,9596 \cdot 10^{-5}$	m^4
I_t	$5,9193 \cdot 10^{-5}$	m^4
I_ω	0,0000	m^6
$W_{el,y}$	$2,7016 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{el,z}$	$2,7016 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{pl,y}$	$3,5668 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{pl,z}$	$3,5668 \cdot 10^{-4}$	m^3
i_y	0,075	m
i_z	0,075	m
Třída průřezu 1		

Materiál – Ocel S355

E	$210 \cdot 10^9$	Pa
G	$81 \cdot 10^9$	Pa
f_{yk}	$355 \cdot 10^6$	Pa
f_{uk}	$510 \cdot 10^6$	Pa



Obr. 9.3: Průřez šikmého ztužidla B26

Posudek pevnosti

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{504,3}{1883,6} = 0,27 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{5,3060 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 1883,6 \text{ kN}$$

Posudek stability

Vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 8,139 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 2,9596 \cdot 10^{-5}}{8,139^2} = 926,0 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{8,139}{0,075} = 108,52$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{5,3060 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{926000}} = 1,426$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,426 - 0,2) + 1,426^2] = 1,817$$

Křivka vzpěrné pevnosti $c \rightarrow \alpha = 0,49$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,817 + \sqrt{1,817^2 - 1,426^2}} = 0,340$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,340 \cdot 5,3060 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 784,95 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{504,3}{640,4} = 0,79 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Klopení

Kruhové průřezy nejsou citlivé na klopení.

Momenty a posouvající síly jsou zanedbatelné či dokonce nulové, proto nebyly podrobeny pevnostnímu a stabilitnímu posouzení.

9.1.3 Ztužidlo vodorovné vnější B12 (kom. NK B2/2)

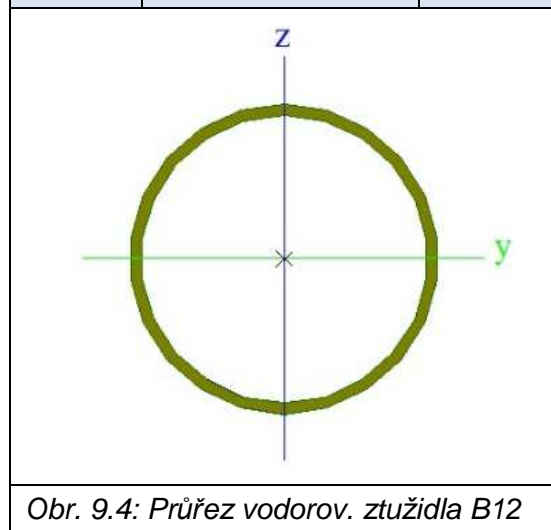
N_{Ed}	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	T_{Ed}	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
-175,47	0,49	-0,16	-0,12	3,77	-2,05

Průřez. charakteristiky – Ø178x 6,3

A	$3,3900 \cdot 10^{-3}$	m^2
A_y	$2,1609 \cdot 10^{-3}$	m^2
A_z	$2,1609 \cdot 10^{-3}$	m^2
I_y	$1,2500 \cdot 10^{-5}$	m^4
I_z	$1,2500 \cdot 10^{-5}$	m^4
I_t	$2,4990 \cdot 10^{-5}$	m^4
I_ω	0,0000	m^6
$W_{el,y}$	$1,4100 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{el,z}$	$1,4100 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{pl,y}$	$1,8246 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{pl,z}$	$1,8246 \cdot 10^{-4}$	m^3
i_y	0,061	m
i_z	0,061	m
Třída průřezu 1		

Materiál – Ocel S355

E	$210 \cdot 10^9$	Pa
G	$81 \cdot 10^9$	Pa
f_{yk}	$355 \cdot 10^6$	Pa
f_{uk}	$510 \cdot 10^6$	Pa



Posudek pevnosti

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{175,5}{1203,5} = 0,15 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{3,3900 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 1203,5 \text{ kN}$$

Kroucení

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,12}{57,55} = 0,00 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$T_{Rd} = \tau_{dov} \cdot \frac{I_t}{r} = \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot \frac{I_t}{r} = \frac{355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,00} \cdot \frac{2,4990 \cdot 10^{-5}}{0,5 \cdot 0,178} = 57,6 \text{ kNm}$$

Smyk

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl,Rd}} = \frac{0,49}{442,9} = 0,00 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{0,16}{442,9} = 0,00 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$V_{y,pl,Rd} = V_{z,pl,Rd} = \frac{A_y \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,1609 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 442,9 \text{ kN}$$

Ohybový moment

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} = \frac{3,77}{64,8} = 0,06 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} = \frac{2,05}{64,8} = 0,03 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,8246 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 64,8 \text{ kNm}$$

Ohyb, smyk a osová síla

$$V_{y,Ed} = 0,49 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot V_{y,pl,Rd}$$

$$V_{z,Ed} = 0,16 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot V_{z,pl,Rd}$$

lze zanedbat účinek smykové síly

\Rightarrow šikmý ohyb

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right)^{\beta} = \left(\frac{3,77}{66,4}\right)^2 + \left(\frac{2,05}{66,4}\right)^2 = 0,00 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{y,pl,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a_w} = 64,8 \cdot \frac{1-0,15}{1-0,5 \cdot 0,34} = 66,4 \text{ kNm}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{y,pl,Rd}} = \frac{175,5}{1203,5} = 0,15$$

$$a_w = a_f = (A - 2 \cdot b \cdot t) / A = (3,3900 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 0,178 \cdot 0,0063) / 3,3900 \cdot 10^{-3} = 0,34$$

$$\alpha = \beta = 2,0$$

Posudek stability

Vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 5,500 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,2500 \cdot 10^{-5}}{5,500^2} = 856,5 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5,500}{0,061} = 90,16$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,3900 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{856500}} = 1,185$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,185 - 0,2) + 1,185^2] = 1,443$$

Křivka vzpěrné pevnosti a $\rightarrow \alpha = 0,21$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,443 + \sqrt{1,443^2 - 1,185^2}} = 0,441$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,441 \cdot 3,3900 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 530,7 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{175,5}{530,7} = 0,33 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Klopení

Kruhové průřezy nejsou citlivé na klopení.

Tlak s ohybem

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{175,5}{\frac{0,441 \cdot 1203,5}{1,00}} + 1,14 \cdot \frac{15,71}{\frac{1,00 \cdot 64,8}{1,00}} + 0,53 \cdot \frac{2,05}{\frac{64,8}{1,00}} = 0,62 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{175,5}{\frac{0,441 \cdot 1203,5}{1,00}} + 0,68 \cdot \frac{15,71}{\frac{1,00 \cdot 64,8}{1,00}} + 0,88 \cdot \frac{2,05}{\frac{64,8}{1,00}} = 0,52 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Interakční součinitele k_{ij} a součinitele C_m ekvivalentního konstantního momentu jsou určeny dle [4] přílohy B.

$$C_{my} = 0,90$$

$$C_{mz} = 0,60$$

$$C_{mLT} = 0,77$$

$$k_{yy} = 1,14$$

$$k_{yz} = 0,53$$

$$k_{zy} = 0,68$$

$$k_{zz} = 0,88$$

9.1.4 Ztužidlo vodorovné vnitřní B52 (kom. NK D3/18)

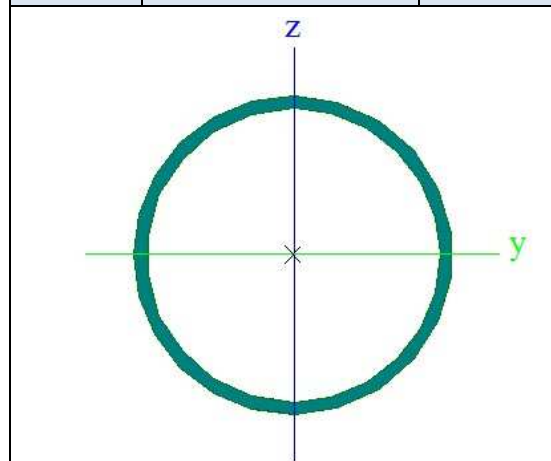
N_{Ed}	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	T_{Ed}	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
-16,83	-0,49	-1,22	0,06	0,00	0,00

Průřez. charakteristiky – Ø159 x 6,3

A	$3,0220 \cdot 10^{-3}$	m^2
A_y	$1,9240 \cdot 10^{-3}$	m^2
A_z	$1,9240 \cdot 10^{-3}$	m^2
I_y	$8,8235 \cdot 10^{-6}$	m^4
I_z	$8,8235 \cdot 10^{-6}$	m^4
I_t	$1,7648 \cdot 10^{-5}$	m^4
I_ω	0,0000	m^6
$W_{el,y}$	$1,1099 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{el,z}$	$1,1099 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{pl,y}$	$1,4698 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{pl,z}$	$1,4698 \cdot 10^{-4}$	m^3
i_y	0,054	m
i_z	0,054	m
Třída průřezu 1		

Materiál – Ocel S355

E	$210 \cdot 10^9$	Pa
G	$81 \cdot 10^9$	Pa
f_{yk}	$355 \cdot 10^6$	Pa
f_{uk}	$510 \cdot 10^6$	Pa



Obr. 9.5: Průřez vodorov. Ztužidla B52

Posudek pevností

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{16,8}{1072,8} = 0,02 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{3,0220 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 1072,8 \text{ kN}$$

Posudek stability

Vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 7,778 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 8,8235 \cdot 10^{-6}}{7,778^2} = 302,3 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7,778}{0,054} = 144,04$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,0220 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{302300}} = 1,884$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,884 - 0,2) + 1,884^2] = 2,687$$

Křivka vzpěrné pevnosti $c \rightarrow \alpha = 0,49$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,687 + \sqrt{2,687^2 - 1,884^2}} = 0,217$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,217 \cdot 3,0220 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 232,8 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{16,8}{232,8} = 0,07 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Klopení

Kruhové průřezy nejsou citlivé na klopení.

Momenty a posouvající síly jsou zanedbatelné či dokonce nulové, proto nebyly podrobeny pevnostnímu a stabilitnímu posouzení.

9.1.5 Ztužení dolního pásu příhradového vazníku B56 (kom. NK B4/2)

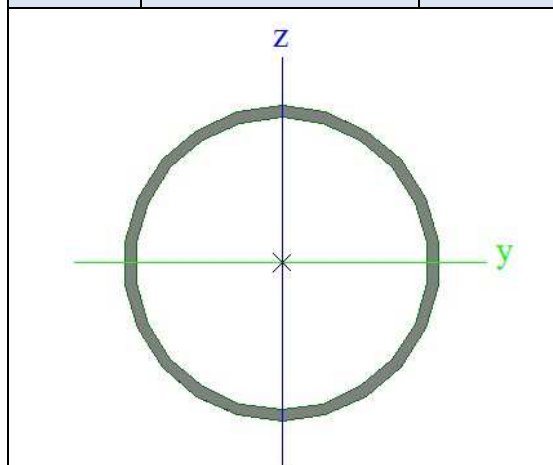
N_{Ed}	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	T_{Ed}	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
-385,48	-0,79	-2,15	0,25	0,00	0,00

Průřezové charakteristiky – Ø219 x 8

A	$5,3060 \cdot 10^{-3}$	m^2
A_y	$3,3776 \cdot 10^{-3}$	m^2
A_z	$3,3776 \cdot 10^{-3}$	m^2
I_y	$2,9596 \cdot 10^{-5}$	m^4
I_z	$2,9596 \cdot 10^{-5}$	m^4
I_t	$5,9193 \cdot 10^{-5}$	m^4
I_ω	0,0000	m^6
$W_{el,y}$	$2,7016 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{el,z}$	$2,7016 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{pl,y}$	$3,5668 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{pl,z}$	$3,5668 \cdot 10^{-4}$	m^3
i_y	0,075	m
i_z	0,075	m
	Třída průřezu 1	

Materiál – Ocel S355

E	$210 \cdot 10^9$	Pa
G	$81 \cdot 10^9$	Pa
f_{yk}	$355 \cdot 10^6$	Pa
f_{uk}	$510 \cdot 10^6$	Pa



Obr. 9.6: Průřez ztuž. dolního pásu B56

Posudek pevností

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{385,5}{1883,6} = 0,21 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{5,3060 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 1883,6 \text{ kN}$$

Posudek stability

Vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 7,778 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 2,9596 \cdot 10^{-5}}{7,778^2} = 1013,9 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7,778}{0,075} = 103,71$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{5,3060 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1013900}} = 1,363$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,363 - 0,2) + 1,363^2] = 1,714$$

Křivka vzpěrné pevnosti $c \rightarrow \alpha = 0,49$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,714 + \sqrt{1,714^2 - 1,363^2}} = 0,363$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,363 \cdot 5,3060 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 683,7 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{385,5}{683,7} = 0,56 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Klopení

Kruhové průřezy nejsou citlivé na klopení.

Momenty a posouvající síly jsou zanedbatelné či dokonce nulové, proto nebyly podrobeny pevnostnímu a stabilitnímu posouzení.

9.1.6 Dolní pás příhradového vazníku B168 (kom. NK B2/2)

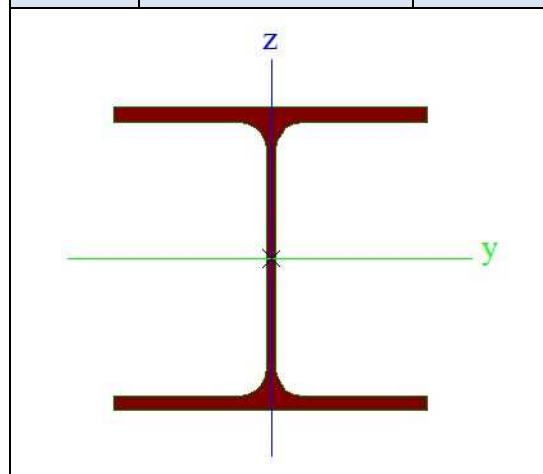
N_{Ed}	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	T_{Ed}	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
-1296,29	-2,96	-120,28	-0,03	-171,15	1,88

Průřezové charakteristiky HEA 300

A	$1,1300 \cdot 10^{-2}$	m^2
A_y	$8,1300 \cdot 10^{-3}$	m^2
A_z	$2,6502 \cdot 10^{-3}$	m^2
I_y	$1,8300 \cdot 10^{-4}$	m^4
I_z	$6,3100 \cdot 10^{-5}$	m^4
I_t	$8,5200 \cdot 10^{-7}$	m^4
I_ω	$1,1998 \cdot 10^{-6}$	m^6
$W_{el,y}$	$1,2600 \cdot 10^{-3}$	m^3
$W_{el,z}$	$4,2100 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{pl,y}$	$1,3833 \cdot 10^{-3}$	m^3
$W_{pl,z}$	$6,4167 \cdot 10^{-4}$	m^3
i_y	0,127	m
i_z	0,075	m
Třída průřezu 1		

Materiál – Ocel S355

E	$210 \cdot 10^9$	Pa
G	$81 \cdot 10^9$	Pa
f_{yk}	$355 \cdot 10^6$	Pa
f_{uk}	$510 \cdot 10^6$	Pa



Obr. 9.7: Průřez dolního pásu B168

Posudek pevnosti

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{1296,3}{4011,5} = 0,21 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,1300 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 4011,5 \text{ kN}$$

Smyk

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl,Rd}} = \frac{2,96}{1663,3} = 0,00 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{120,3}{543,2} = 0,22 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$V_{y,pl,Rd} = \frac{A_{v(y)} \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{8,1300 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 1663,3 \text{ kN}$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{A_{v(z)} \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,6502 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 543,2 \text{ kN}$$

Ohybový moment

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} = \frac{171,2}{491,1} = 0,35 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} = \frac{1,9}{227,8} = 0,01 \leq 1,0$$

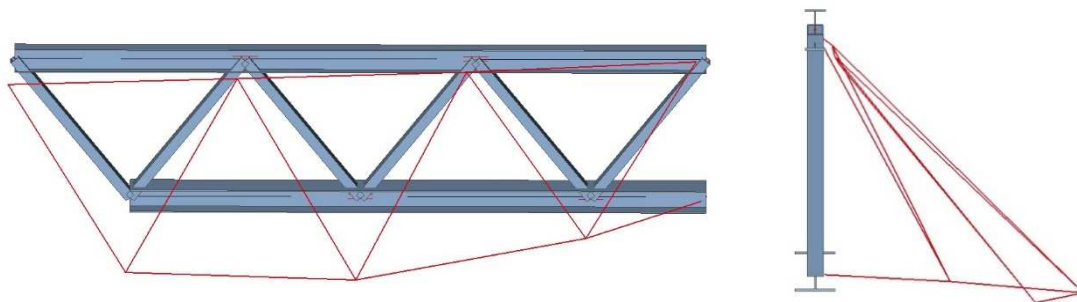
Vyhovuje

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,3833 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 491,1 \text{ kNm}$$

$$M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{plz} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{6,4167 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 227,8 \text{ kNm}$$

Posudek stability

Interakce vzpěru a klopení je řešena pomocí obecné metody, která je popsána v čl. 6.3.4 normy [4]. Metoda vyžaduje obecně řešení MKP, které umožní uvažovat vybočení ve vzpěru a při klopení.



Obr. 9.8: 1. tvar vybočení ve vodorovném směru

Stabilitní kombinace: S2 - B2/2

Nejmenší násobitel návrhového zatížení, při kterém se dosáhne kritického zatížení

$$\alpha_{cr,op} = 6,38$$

Nejmenší násobitel návrhového zatížení, při kterém se dosáhne hodnota charakteristické únosnosti v rozhodujícím průřezu konstrukční části při jeho namáhání v rovině, ale bez uvažování vzpěru z roviny nebo klopení

$$\alpha_{ult,k} = 1 / (N_{Ed} / (A \cdot f_y) + M_{y,Ed} / (W_{ply} \cdot f_y))$$

$$\alpha_{ult,k} = 1 / (0,21 + 0,35) = 1,79$$

Poměrná globální štíhlost

$$\lambda_{op} = \sqrt{\alpha_{ult,k} / \alpha_{cr,op}}$$

$$\lambda_{op} = \sqrt{1,79 / 6,38} = 0,530$$

Součinitel vzpěrnosti

Křivka vzpěrné pevnosti $c \rightarrow \alpha = 0,49$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_{op} - 0,2) + \lambda_{op}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,530 - 0,2) + 0,530^2] = 0,721$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_{op}^2}} = \frac{1}{0,721 + \sqrt{0,721^2 - 0,530^2}} = 0,827$$

Součinitel klopení

Křivka klopení $a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{op} - 0,2) + \lambda_{op}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,530 - 0,2) + 0,530^2] = 0,675$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_{op}^2}} = \frac{1}{0,675 + \sqrt{0,675^2 - 0,530^2}} = 0,915$$

Únosnost

$$N_{Ed}/(\chi \cdot A \cdot f_{yk}) + M_{y,Ed}/(\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yk}) \leq 1,0$$

$$1296,3/(0,827 \cdot 1,130 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6) + 171,2/(0,915 \cdot 1,383 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6) \leq 1,0$$

$$0,39 + 0,38 = 0,77 \leq 1,0$$

Vyhovuje

9.1.7 Ztužení příhradových nosníků B173 (kom. NK D2/22)

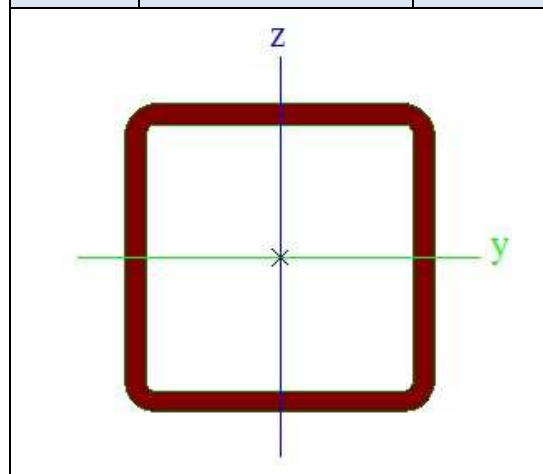
N_{Ed}	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	T_{Ed}	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
-518,18	-14,20	3,74	-4,02	3,68	-5,82

Průřez. charakteristiky □ 120x120x8

A	$3,5200 \cdot 10^{-3}$	m^2
A_y	$1,7360 \cdot 10^{-3}$	m^2
A_z	$1,7360 \cdot 10^{-3}$	m^2
I_y	$7,2600 \cdot 10^{-6}$	m^4
I_z	$7,2600 \cdot 10^{-6}$	m^4
I_t	$1,1600 \cdot 10^{-5}$	m^4
I_ω	$1,6589 \cdot 10^{-8}$	m^6
$W_{el,y}$	$1,2100 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{el,z}$	$1,2100 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{pl,y}$	$1,4440 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{pl,z}$	$1,4440 \cdot 10^{-4}$	m^3
i_y	0,045	m
i_z	0,045	m
Třída průřezu 1		

Materiál – Ocel S355

E	$210 \cdot 10^9$	Pa
G	$81 \cdot 10^9$	Pa
f_{yk}	$355 \cdot 10^6$	Pa
f_{uk}	$510 \cdot 10^6$	Pa



Obr. 9.9: Průřez ztužení vazníků B173

Posudek pevnosti

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{518,2}{1249,6} = 0,42 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{3,5200 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1249,6 \text{ kN}$$

Kroucení

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{4,02}{41,14} = 0,10 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$T_{Rd} = \tau_{dov} \cdot \Omega \cdot t = \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot \Omega \cdot t = \frac{355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,00} \cdot 2 \cdot (0,12 - 0,008)^2 \cdot 0,008 = 41,14 \text{ kNm}$$

Smyk

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl,Rd}} = \frac{14,20}{355,8} = 0,04 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{3,74}{355,8} = 0,01 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$V_{y(z),pl,Rd} = \frac{A_y \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,7360 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 355,8 \text{ kN}$$

Ohybový moment

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} = \frac{3,68}{51,3} = 0,07 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} = \frac{5,82}{51,3} = 0,11 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,4440 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 51,3 \text{ kNm}$$

Ohyb, smyk a osová síla

$$V_{y,Ed} = 14,20 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot V_{y,pl,Rd}$$

$$V_{z,Ed} = 3,74 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot V_{z,pl,Rd}$$

lze zanedbat účinek smykové síly

⇒ šikmý ohyb

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right)^{\beta} = \left(\frac{3,68}{38,4}\right)^{2,07} + \left(\frac{5,82}{38,4}\right)^{2,07} = 0,03 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{y,pl,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a_w} = 51,3 \cdot \frac{1-0,42}{1-0,5 \cdot 0,45} = 38,4 \text{ kNm}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{y,pl,Rd}} = \frac{518,2}{1249,6} = 0,42$$

$$a_w = a_f = (A - 2 \cdot b \cdot t) / A = (3,5200 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 0,12 \cdot 0,008) / 3,5200 \cdot 10^{-3} = 0,45$$

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2} = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot 0,42^2} = 2,07$$

Posudek stability

Vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 1,812 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 7,2600 \cdot 10^{-6}}{1,812^2} = 4582,9 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{1,812}{0,045} = 40,27$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,5200 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{4582900}} = 0,522$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,522 - 0,2) + 0,522^2] = 0,715$$

Křivka vzpěrné pevnosti c → α = 0,49

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,715 + \sqrt{0,715^2 - 0,522^2}} = 0,831$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,831 \cdot 3,5200 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1038,4 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{518,2}{1038,4} = 0,50 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Klopení

čtvercové průřezy nejsou citlivé na klopení.

Tlak s ohybem

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\lambda_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{518,2}{\frac{0,831 \cdot 1249,6}{1,0}} + 1,04 \cdot \frac{4,68}{\frac{1,00 \cdot 51,3}{1,0}} + 0,42 \cdot \frac{26,3}{\frac{51,3}{1,0}} = 0,81 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\lambda_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{518,2}{\frac{0,831 \cdot 1249,6}{1,0}} + 0,63 \cdot \frac{4,68}{\frac{1,00 \cdot 51,3}{1,0}} + 0,71 \cdot \frac{26,34}{\frac{51,3}{1,0}} = 0,92 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Interakční součinitele k_{ij} a součinitele C_m ekvivalentního konstantního momentu jsou určeny dle normy [4] přílohy B.

$$C_{my} = 0,90$$

$$C_{mz} = 0,61$$

$$C_{mLT} = 0,40$$

$$k_{yy} = 1,04$$

$$k_{yz} = 0,42$$

$$k_{zy} = 0,63$$

$$k_{zz} = 0,71$$

9.2 Provozní stav - spřažené pruty

Ocelové konstrukce disponují mnohem větší únosností než konstrukce vyrobené z betonu, je zde však problém s jejich stabilitou a tuhostí. Naproti tomu betonové konstrukce vykazují vysokou tuhost, ale nízkou tahovou únosnost. Z toho plyne, že kombinací těchto dvou materiálů můžeme maximálně využít výše zmíněných výhod obou materiálů. Ve spřaženém ocelobetonovém průřezu přebírá tlaková namáhání betonová část průřezu a tah ocelová část. Pro provádění těchto konstrukcí a jejich správnou a bezchybnou funkci je nezbytné zajistit smykové spojení mezi těmito dvěma materiály.

9.2.1 Horní pás příhradového vazníku B65 (kom. NK B4/2)

N_{Ed}	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	T_{Ed}	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
-496,63	2,65	-38,17	-0,04	116,77	-2,10

Horní pás příhradového vazníku je namáhaný především osovými silami. Zbylé vnitřní síly zvláště ohybový moment $M_{y,Ed}$ není tak význačný jako u jiných prutů roštu platformy. Je ovšem důležité navrhnout úplné spřažení, aby nedocházelo ke vzpěru. Na prostý tlak má pouze samotný ocelový průřez téměř 4x větší únosnost než jaký účinek vyvolává návrhová tlaková síla.

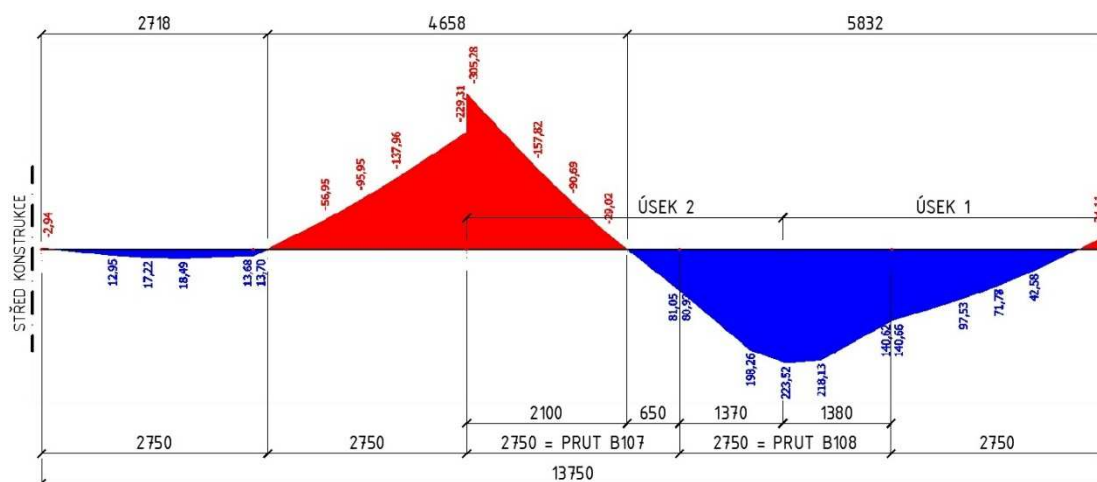
Z těchto důvodů není tento prut, na rozdíl od následujících dvou, detailně posuzován.

9.2.2 Rošt platformy B107 a B108 (kom. NK D4/16)

		N_{Ed}	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	T_{Ed}	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
B107	podpora	-10,05	0,00	165,88	0,00	-305,28	-0,01
B108	v poli	-6,91	0,00	21,67	0,00	223,52	0,00

Zatřídění průřezu: Průřez patří do třídy 1.

Určení spolupůsobících šířek b_{eff}



Obr. 9.10: Průběh maximálních ohybových momentů na prutech B107 a B108

Náhradní rozpětí L_e jsou přesně změřena na obr. 9.10 v závislosti na průběhu ohybových momentů, nikoliv dle obecných vztahů.

Pro záporný moment (nad podporou)

$$b_{eff} = b_o + 2 \cdot L_e/8$$

$$b_{eff} = 80 + 2 \cdot 4658/8 = 1245 \text{ mm}$$

b_o vzdálenost mezi řadami trnů;

Pro kladný moment (v poli)

$$b_{eff} = b_o + 2 \cdot L_e/8$$

$$b_{eff} = 80 + 2 \cdot 5832/8 = 1538 \text{ mm}$$

Redistribuce momentů

Tab. 9.1: Redistribuce momentů

Třída průřezu v oblasti záporných momentů		1	2	3	4
Redistribuce	vlivem trhlin v betonu	15	15	10	10
	vlivem nepružného působení	25	15	10	0
Redistribuce celkem		40	30	20	10

U staticky neurčité konstrukce závisí rozložení vnitřních sil na tuhosti jednotlivých částí konstrukce. U spojitého nosníku stálého průřezu je zřejmé, že v oblastech vnitřních podpor dojde v důsledku nezapočítání taženého betonu ke snížení tuhosti ve srovnání s průřez v poli. Určení průběhu momentů je tedy možné pracným iteračním postupem nebo je varianta přibližného postupu, kdy se záporné momenty redukují dle tab. 9.1.

Redukce záporného momentu u posuzovaného nosníku je zvolena hodnotou 20 %. Kladný moment v poli se zákonitě zvětší. Přírůstek není přesně určen, proto byl pouze odhadnut na 15 %.

Záporný moment po redistribuci: $M_{Ed1} = 0,8 \cdot (-305,28) = -244,2 \text{ kNm}$

Kladný moment po redistribuci: $M_{Ed2} = 1,15 \cdot 223,52 = 257,1 \text{ kNm}$

Tab. 9.2: Průřez prutu B107 nad podporou

ŽB DESKA

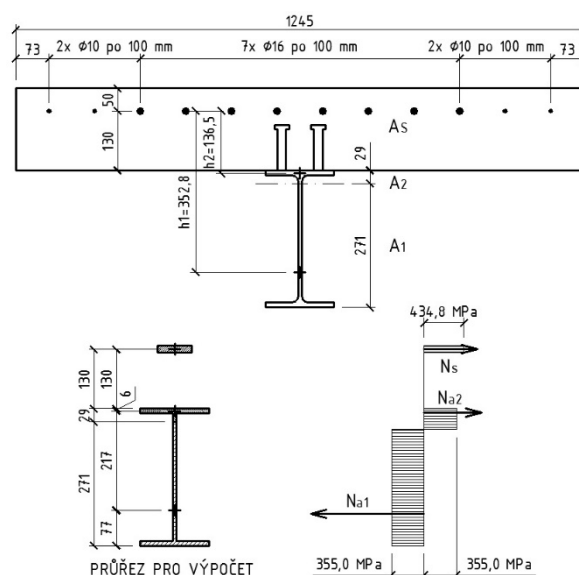
tloušťka	$t = 180 \text{ mm}$
spolupůsob. šířka	$b_{\text{eff}} = 1245 \text{ mm}$
krytí	$c = 42 \text{ mm}$
průměr výztuže	$\varnothing = 16 \text{ mm}$
počet prutů	7 ks
rozteč prutů	100 mm
plocha výztuže	$A_s = 1407 \text{ mm}^2$
mez pevn. v tahu	$f_{sd} = 434,8 \text{ MPa}$

PROFIL IPE300

výška profilu	$v = 300 \text{ mm}$
šířka profilu	$b = 150 \text{ mm}$
mez kluzu	$f_{yd} = 355,0 \text{ MPa}$
tloušťka pásnice	$t_f = 11,0 \text{ mm}$
šířka pásnice	$b_f = 150 \text{ mm}$
tloušťka stojiny	$t_w = 7,1 \text{ mm}$
výška stojiny	$h_w = 278 \text{ mm}$
plocha profilu	$A_a = 5274 \text{ mm}^2$

SPŘAŽENO

tlačená plocha	$A_1 = 3499 \text{ mm}^2$
tažená plocha	$A_2 = 1778 \text{ mm}^2$
síla ve výztuži	$N_s = 612,0 \text{ kN}$
síla v tlač. oblasti	$N_1 = 1242,1 \text{ kN}$
síla v taž. oblasti	$N_2 = 630,1 \text{ kN}$
rameno tlač. obl.	$h_1 = 352,8 \text{ mm}$
rameno taž. obl.	$h_2 = 136,5 \text{ mm}$



Obr. 9.11: Průřez prutu B107 nad podporou

Princip výpočtu:

$$\begin{aligned}
 N_s + N_2 &= N_1 \\
 A_2 &= A_a - A_1 \\
 A_s \cdot f_{sd} + A_2 \cdot f_{yd} &= A_1 \cdot f_{yd} \\
 A_1 &= A_s \cdot f_{sd} + A_a \cdot f_{yd} / 2f_{yd} \\
 M_{Rd} &= N_1 \cdot h_1 - N_2 \cdot h_2 \\
 M_{Rd} &= 1242,1 \cdot 0,3528 - 630,1 \cdot 0,1365 \\
 M_{Rd} &= 352,2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Posouzení: $M_{Ed}/M_{Rd} \leq 1,0$

$$244,2/352,2 = 0,70 \leq 1,0$$

vyhovuje

Tab. 9.3: Průřez prutu B108 v poli

ŽB DESKA		Profil IPE 300	
tloušťka	$t = 180 \text{ mm}$	plocha profilu	$A_a = 5274 \text{ mm}^2$
spolupůsobící šířka	$b_{eff} = 1538 \text{ mm}$	mez kluzu	$f_{yd} = 355,0 \text{ MPa}$
návr. pevnost v tlaku	$f_{cd} = 20,0 \text{ MPa}$		

Poloha neutrální osy:

$$x = A_a \cdot f_{yd} / (0,85 b_{eff} \cdot f_{cd}) = 5,274 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 / (0,85 \cdot 1,538 \cdot 20 \cdot 10^6) = 72 \text{ mm}$$

Momentová únosnost:

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot (h - x/2) = 5,274 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 \cdot (0,330 - 0,072/2) = 550,8 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Ed}/M_{Rd} = 257,1/550,8 = 0,47 \leq 1,0$$

Kontrola stability (klopení)

Musí být splněny následující podmínky:

- stejně dlouhá pole
- rovnoměrné zatížení, stálé alespoň 40 % z celkového
- horní pásnice spojena s betonovou deskou

Podmínky jsou splněny a nosník proto není nutné kontrolovat na klopení.

Spřažení

Trny $\varnothing 19 \text{ mm}$ z oceli s mezí pevnosti $f_u = 450 \text{ MPa}$ jsou rozmístěny podle obr. 9.12.

Únosnost trnu v plné desce

$$P_{Rd} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / (4 \cdot \gamma_v) = 0,8 \cdot 450 \cdot \pi \cdot 19^2 / (4 \cdot 1,25) = 81,7 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} / \gamma_v = 0,29 \cdot 1,0 \cdot 19^2 \cdot \sqrt{30 \cdot 32000} / 1,25 = 82,1 \text{ kN}$$

$$\alpha = 1,0 \quad \text{pro } h_{sc}/d = 100/19 = 5,26 > 4$$

$$\text{rozhoduje } P_{Rd} = 81,7 \text{ kN}$$

Nosník je rozdělen na úseky viz obr. 9.12.

Síly při plném smykovém spojení

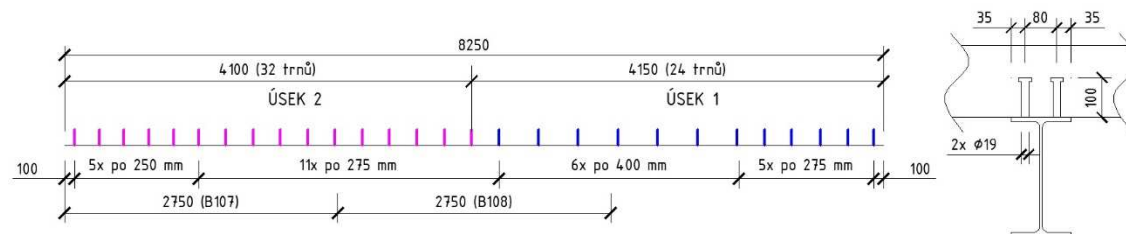
$$\text{Úsek 1: } F_{cf} = A_a \cdot f_{yd} = 5,274 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 1872,3 \text{ kN}$$

$$\text{Úsek 2: } F_{cf} = 1872,3 + A_s \cdot f_{sd} = 1872,3 + 612,0 = 2484,3 \text{ kN}$$

Potřebné množství trnů

$$\text{Úsek 1: } N_f = F_{cf} / P_{Rd} = 1872,3 / 81,7 = 22,9 \sim 24 \text{ trnů}$$

$$\text{Úsek 2: } N_f = F_{cf} / P_{Rd} = 2484,3 / 81,7 = 30,4 \sim 32 \text{ trnů}$$



Obr. 9.12: Rozmístění spřahovacích trnů na prutech B107 a B108

Je dosaženo plného spřažení.

Vzpěr ani klopení u prutu nenastává.

Smyk (B107)

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl,Rd}} = \frac{0,0}{652,5} = 0,00 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{165,88}{446,3} = 0,37 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$V_{y,pl,Rd} = \frac{A_{v(y)} \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3,184 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 652,5 \text{ kN}$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{A_{v(z)} \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,178 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 446,3 \text{ kN}$$

Smyk (B108)

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl,Rd}} = \frac{0,0}{652,5} = 0,00 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{21,67}{446,3} = 0,05 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$V_{y,pl,Rd} = \frac{A_{v(y)} \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3,184 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 652,5 \text{ kN}$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{A_{v(z)} \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,178 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 446,3 \text{ kN}$$

Ohyb a smyk

$$B107: \frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{165,88}{446,3} = 0,37 \leq 0,5$$

$$B108: \frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{21,67}{446,3} = 0,05 \leq 0,5$$

Posouzení kombinace ohybu a smyku není nutné.

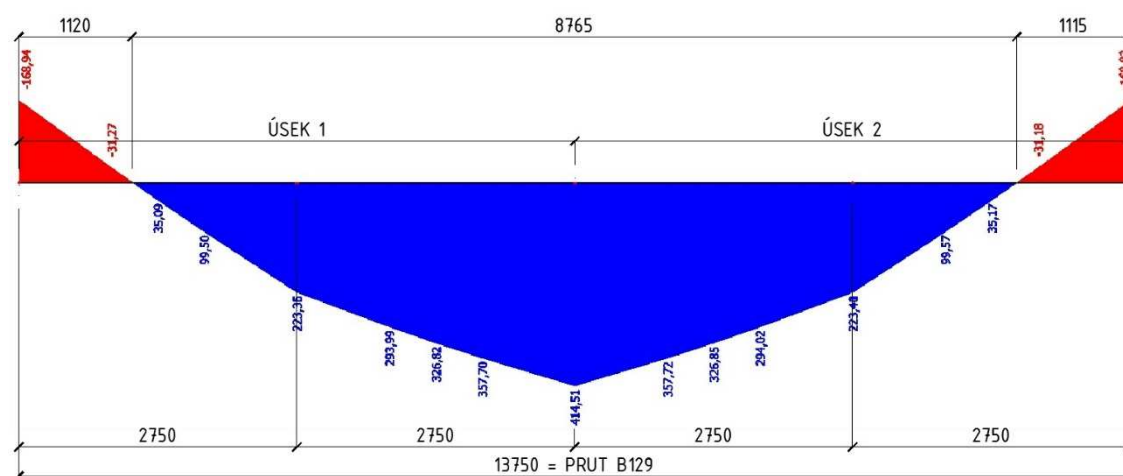
Zbylé vnitřní síly jsou z hlediska ztráty únosnosti bezvýznamné.

9.2.3 Obvodový nosník roštu platformy B129 (kom. NK D4/24)

		N_{Ed}	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	T_{Ed}	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
B129	podpora	-81,23	-5,61	152,48	-0,01	-168,94	5,79
	v poli	-56,69	3,63	59,70	0,06	414,51	1,77

Zatřídění průřezu: Průřez patří do třídy 1.

Určení spolupůsobících šířek b_{eff}



Obr. 9.13: Průběh maximálního ohybového momentu na prutu B129

Náhradní rozpětí L_e jsou přesně změřena na obr. 9.13 v závislosti na průběhu ohybových momentů, nikoliv dle obecných vztahů.

Pro záporný moment (nad podporou)

$$b_{eff} = 2 \cdot L_e / 8$$

$$b_{eff} = 2 \cdot 1120 / 8 = 280 \text{ mm}$$

Pro kladný moment (v poli)

$$b_{eff} = L_e / 8$$

$$b_{eff} = 8765 / 8 = 1095 \text{ mm}$$

Redistribuce momentů

Redukce záporného momentu u posuzovaného nosníku je zvolena hodnotou 20 %. Kladný moment v poli se zákonitě zvětší. Přírůstek není přesně určen, proto byl pouze odhadnut na 15 %.

Záporný moment po redistribuci: $M_{Ed1} = 0,8 \cdot (-168,94) = -135,2 \text{ kNm}$

Kladný moment po redistribuci: $M_{Ed2} = 1,15 \cdot 414,51 = 476,7 \text{ kNm}$

Tab. 9.4: Průřez prutu B129 nad podporou

ŽB DESKA

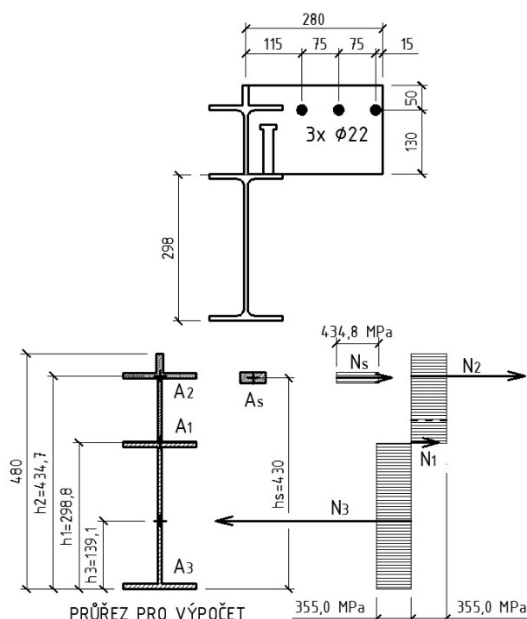
tloušťka	$t = 180 \text{ mm}$
spolupůsob. šířka	$b_{\text{eff}} = 280 \text{ mm}$
krytí	$c = 39 \text{ mm}$
průměr výztuže	$\phi = 22 \text{ mm}$
počet prutů	3 ks
rozteč prutů	75 mm
plocha výztuže	$A_s = 1140 \text{ mm}^2$
mez pevn. v tahu	$f_{sd} = 434,8 \text{ MPa}$

PROFIL 1+1/2 IPE300

výška profilu	$v = 480 \text{ mm}$
šířka profilu	$b = 150 \text{ mm}$
mez kluzu	$f_{yd} = 355,0 \text{ MPa}$
tloušťka pásnice	$t_f = 11,0 \text{ mm}$
šířka pásnice	$b_f = 150 \text{ mm}$
tloušťka stojiny	$t_w = 7,1 \text{ mm}$
výška stojiny	$h_{w1} = 278 \text{ mm}$
výška stojiny	$h_{w2} = 129 \text{ mm}$
plocha profilu	$A_a = 8440 \text{ mm}^2$

SPŘAŽENO

tlačená plocha	$A_3 = 4918 \text{ mm}^2$
tažená plocha	$A_1 = 676 \text{ mm}^2$
tažená plocha	$A_2 = 2846 \text{ mm}^2$
síla ve výztuži	$N_s = 495,7 \text{ kN}$
síla v tlač. oblasti	$N_3 = 1745,9 \text{ kN}$
síla v taž. oblasti	$N_1 = 240,0 \text{ kN}$
síla v taž. oblasti	$N_2 = 1010,3 \text{ kN}$
rameno výztuže	$h_s = 290,9 \text{ mm}$
rameno taž. obl. 1	$h_1 = 159,7 \text{ mm}$
rameno taž. obl. 2	$h_2 = 295,6 \text{ mm}$



Obr. 9.14: Průřez prutu B129 nad podporou

Princip výpočtu:

$$N_s + N_1 + N_2 = N_3$$

$$A_3 = A_a - A_1 + A_2$$

$$A_s \cdot f_{sd} + (A_1 + A_2) \cdot f_{yd} = A_3 \cdot f_{yd}$$

$$A_3 = A_s \cdot f_{sd} + A_a \cdot f_{yd} / 2f_{yd}$$

$$M_{Rd} = N_s \cdot h_s + N_2 \cdot h_2 + N_1 \cdot h_1$$

$$M_{Rd} = 495,7 \cdot 0,291 + 1010,3 \cdot 0,2956 + 240 \cdot 0,1597$$

$$M_{Rd} = 481,2 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} / M_{Rd} \leq 1,0$$

$$135,2 / 481,2 = 0,28 \leq 1,0$$

vyhovuje

Tab. 9.5: Průřez prutu B129 v poli

ŽB DESKA		Profil 1+1/2 IPE 300	
tloušťka	$t = 180 \text{ mm}$	plocha profilu	$A_a = 8440 \text{ mm}^2$
spolupůsobící šířka	$b_{eff} = 280 \text{ mm}$	mez kluzu	$f_{yd} = 355,0 \text{ MPa}$
návr. pevnost v tlaku	$f_{cd} = 20,0 \text{ MPa}$	plocha profilu	$A_x = 5707 \text{ mm}^2$

Poloha neutrální osy:

$$x = A_x \cdot f_{yd} / \left((A_a - A_x) \cdot f_{yd} + A_s \cdot f_{sd} + 0,85 b_{eff} \cdot f_{cd} \right)$$

$$x = 5707 \cdot 355 / (2733 \cdot 355 + 1140 \cdot 434,8 + 0,85 \cdot 280 \cdot 20) = 119 \text{ mm}$$

Momentová únosnost:

$$M_{pl,Rd} = A_2 \cdot f_{yd} \cdot h_2 + A_s \cdot f_{sd} \cdot h_s + A_c \cdot f_{cd} \cdot h_c$$

$$M_{pl,Rd} = 2730 \cdot 355 \cdot 0,2694 + 1140 \cdot 434,8 \cdot 0,2663 + 33320 \cdot 20 \cdot 0,2568 = 564,2 \text{ kNm}$$

Posouzení: $M_{Ed}/M_{Rd} = 476,7/564,2 = 0,85 \leq 1,0$

Pozn. Výztuž při horním povrchu je navržena i v poli, proto je zahrnuta ve výpočtu.

Kontrola stability (klopení)

Podmínky stability jsou splněny a nosník proto není nutné kontrolovat na klopení.

Spřažení

Trny $\varnothing 19 \text{ mm}$ z oceli s mezí pevnosti $f_u = 450 \text{ MPa}$ jsou rozmístěny podle obr. 9.15.

Únosnost trnu v plné desce: rozhoduje $P_{Rd} = 81,7 \text{ kN}$

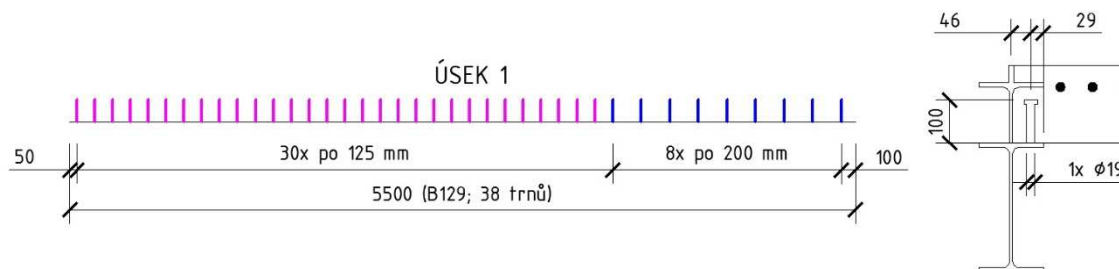
Nosník je rozdělen na úseky viz obr. 9.15.

Síly při plném smykovém spojení

Úsek 1: $F_{cf} = A_a \cdot f_{yd} = 8,440 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 2996,2 \text{ kN}$

Potřebné množství trnů

Úsek 1: $N_f = F_{cf}/P_{Rd} = 2996,2/81,7 = 36,7 \sim 38 \text{ trnů}$



Obr. 9.15: Rozmístění spřahovacích trnů na prutu B129

Je dosaženo plného spřažení. Vzpěr ani klopení u prutu nenastává.

Smyk (podpora)

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl,Rd}} = \frac{5,61}{1034,0} = 0,01 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{152,48}{677,6} = 0,23 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$V_{y,pl,Rd} = \frac{A_{v(y)} \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{5,045 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 1034,0 \text{ kN}$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{A_{v(z)} \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3,306 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 677,6 \text{ kN}$$

Smyk (v poli)

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl,Rd}} = \frac{3,63}{1034,0} = 0,00 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{59,70}{677,6} = 0,09 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Ohyb a smyk

$$\text{podpora: } \frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{152,48}{677,6} = 0,23 \leq 0,5$$

$$\text{v poli: } \frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{59,70}{677,6} = 0,09 \leq 0,5$$

Posouzení kombinace ohybu a smyku není nutné.

Zbýlé vnitřní síly jsou z hlediska ztráty únosnosti bezvýznamné.

9.3 Montážní stav

9.3.1 Rošt platformy B107 (kom. MO A/4)

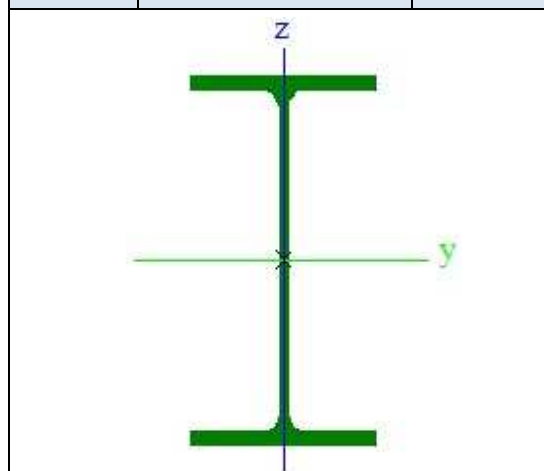
N_{Ed}	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	T_{Ed}	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
-8,66	0,00	106,36	0,00	-185,33	-0,01

Průřez. charakteristiky IPE300

A	$5,3800 \cdot 10^{-3}$	m^2
A_y	$3,1835 \cdot 10^{-3}$	m^2
A_z	$2,1775 \cdot 10^{-3}$	m^2
I_y	$8,3560 \cdot 10^{-5}$	m^4
I_z	$6,0400 \cdot 10^{-6}$	m^4
I_t	$2,0100 \cdot 10^{-7}$	m^4
I_ω	$1,2600 \cdot 10^{-7}$	m^6
$W_{el,y}$	$5,5700 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{el,z}$	$8,0500 \cdot 10^{-5}$	m^3
$W_{pl,y}$	$6,2800 \cdot 10^{-4}$	m^3
$W_{pl,z}$	$1,2500 \cdot 10^{-4}$	m^3
i_y	0,125	m
i_z	0,034	m
Třída průřezu 1		

Materiál – Ocel S355

E	$210 \cdot 10^9$	Pa
G	$81 \cdot 10^9$	Pa
f_{yk}	$355 \cdot 10^6$	Pa
f_{uk}	$510 \cdot 10^6$	Pa



Obr. 9.16: Průřez roštu platformy B107

Posudek pevnosti

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{8,66}{1909,9} = 0,00 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{5,3800 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1909,9 \text{ kN}$$

Smyk

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{106,36}{652,5} = 0,16 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{A_y \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3,1835 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 652,5 \text{ kN}$$

Ohybový moment

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} = \frac{185,33}{222,9} = 0,83 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{6,2800 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 222,9 \text{ kNm}$$

Posudek stability

Vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2,750 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 8,3560 \cdot 10^{-5}}{2,750^2} = 22900,9 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 6,0400 \cdot 10^{-6}}{2,750^2} = 1655,4 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,750}{0,125} = 22,00$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2,750}{0,034} = 80,88$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5,3800 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{22900900}} = 0,289$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{5,3800 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1655400}} = 1,074$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (0,289 - 0,2) + 0,289^2 \right] = 0,551$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,074 - 0,2) + 1,074^2] = 1,225$$

Křivka vzpěrné pevnosti y-y $a \rightarrow \alpha = 0,21$

Křivka vzpěrné pevnosti z-z $b \rightarrow \alpha = 0,34$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,551 + \sqrt{0,551^2 - 0,289^2}} = 0,980$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,225 + \sqrt{1,225^2 - 1,074^2}} = 0,551$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,980 \cdot 5,3800 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1871,7 \text{ kN}$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,551 \cdot 5,3800 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1052,4 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{8,66}{1871,7} = 0,00 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} = \frac{8,66}{1052,4} = 0,01 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Klopení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{185,33}{213,1} = 0,87 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,956 \cdot 6,2800 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{355 \cdot 10^6}{1,0} = 213,1 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,640 + \sqrt{0,640^2 - 0,75 \cdot 0,571^2}} = 0,956$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(0,571 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,571^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,640$$

Křivka vzpěrné pevnosti a $\rightarrow \alpha = 0,21$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{6,2800 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{682900}} = 0,571$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{EI_z \cdot GI_t}}{L} = 4,16 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 6,0400 \cdot 10^{-6} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 2,0100 \cdot 10^{-7}}}{2,750}$$

$$M_{cr} = 682,9 \text{ kNm}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{2,35}{1} \cdot \left[\sqrt{1 + 1,46^2 + (0,08 \cdot 0 - 1,00 \cdot 0)^2} - (0,08 \cdot 0 - 1,00 \cdot 0) \right] = 4,16$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 2,750} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 1,2600 \cdot 10^{-7}}{81 \cdot 10^9 \cdot 2,0100 \cdot 10^{-7}}} = 1,46$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 0}{1 \cdot 2,750} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 6,0400 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^9 \cdot 2,0100 \cdot 10^{-7}}} = 0$$

$$\xi_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 0}{1 \cdot 2,750} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 6,0400 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^9 \cdot 2,0100 \cdot 10^{-7}}} = 0$$

Tlak s ohybem

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\lambda_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{8,66}{\frac{0,980 \cdot 1909,9}{1,0}} + 0,90 \cdot \frac{185,33}{\frac{1,00 \cdot 222,9}{1,0}} + 0,34 \cdot \frac{0,0}{\frac{44,4}{1,0}} = 0,75 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\lambda_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{8,66}{\frac{0,551 \cdot 1909,9}{1,0}} + 0,54 \cdot \frac{185,33}{\frac{1,00 \cdot 222,9}{1,0}} + 0,56 \cdot \frac{0,0}{\frac{44,4}{1,0}} = 0,46 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Interakční součinitele k_{ij} a součinitele C_m ekvivalentního konstantního momentu jsou určeny dle normy [5] přílohy B.

$$C_{my} = 0,90$$

$$C_{mz} = 0,56$$

$$C_{mLT} = 0,42$$

$$k_{yy} = 0,90$$

$$k_{yz} = 0,34$$

$$k_{zy} = 0,54$$

$$k_{zz} = 0,56$$

10 POSOUZENÍ KONSTRUKCE NA MSP

$$\sum_{j>1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Kombinace jsou tvořeny v souladu s normou [1] s použitím této rovnice.

Bylo vytvořeno 8 lineárních kombinací typu EN–MSP char.

Pro určení průhybu konstrukce bylo zapotřebí nejdříve stanovit montážní průhyb a poté připočítat průhyb provozní. Výpočetní model rovněž ošetřuje neusazenost ochranné zóny platformy během provádění ŽB desky.

V provozním průhybu je zohledněna ohybová tuhost ŽB desky pomocí ekvivalentního průřezu HEA340 stanoveného v podkapitole 2.2.

Svislý a vodorovný průhyb konstrukce byl kontrolován ve středu roštu platformy (prut B71) a na okraji ŽB desky (prut B127).

Kombinace STŘ prověřují průhyby ve středu konstrukce. A kombinace OKR prověřují průhyby na okraji platformy.

Tab. 10.1: Kombinace pro MSP

MONTÁŽNÍ PRŮHYB [mm]							U _z	U _{z,lim}	U _y	U _{y,lim}
STŘ1:	1,00	1	1,00	2	1,00	40	8,0	66,0	0,3	40,0
OKR1:	1,00	1	1,00	2	1,00	40	45,8		0,0	
PROVOZNÍ PRŮHYB [mm]							U _z	U _{z,lim}	U _y	U _{y,lim}
STŘ2:	STŘ1	+	0,26	8			10,5		-0,5	
OKR2:	OKR1	+	0,26	24			51,7		0,9	
OKR3:	OKR1	+	1,00	4			6,6	66,0	9,3	40,0
OKR4:	OKR1	+	1,00	5			55,1		6,7	
OKR5:	OKR1	+	1,00	5	0,26	24	61,0		6,4	
OKR6:	OKR1	+	1,00	24			68,4		-1,5	

Limitní svislý průhyb (konzola 8250 mm)

$$u_{z,lim} = 2 \cdot L/250 = 2 \cdot 8250/250 = 66 \text{ mm}$$

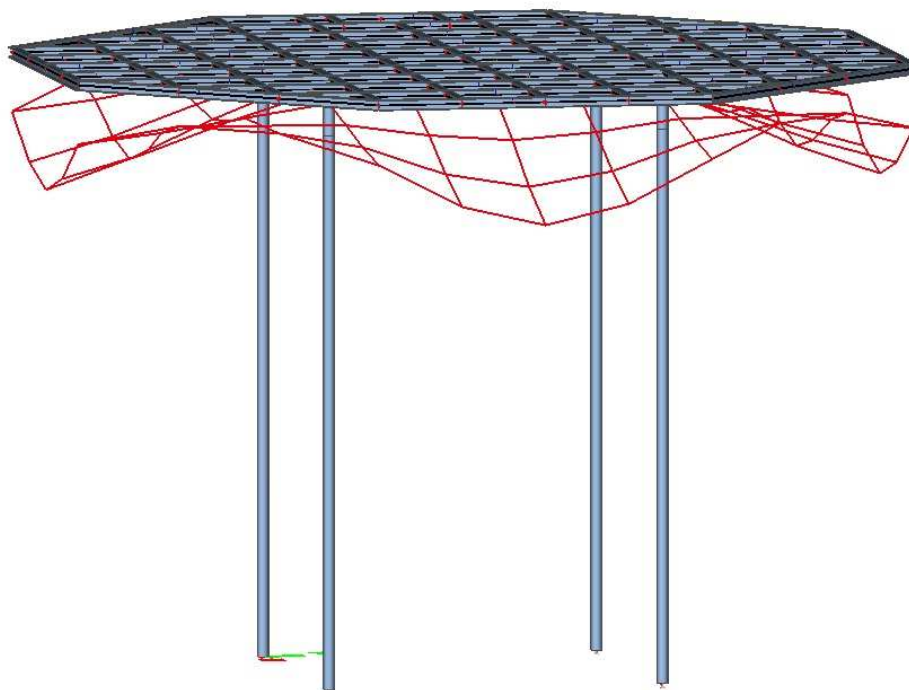
Limitní vodorovný průhyb

$$u_{y,lim} = h_o/500 = 20000/500 = 40 \text{ mm}$$

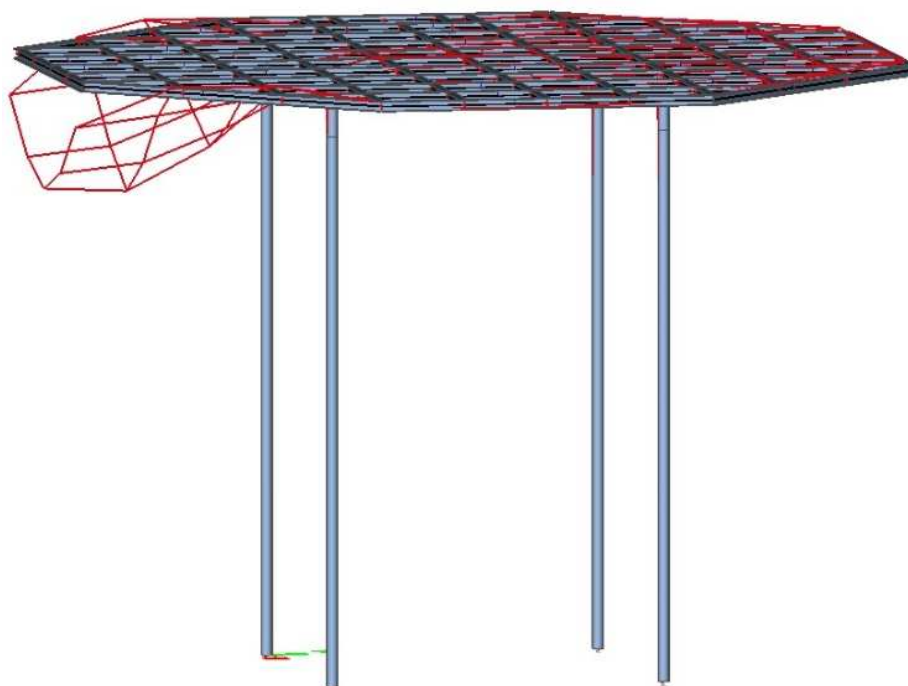
Limitní průhyb nesplňuje pouze kombinace, ve které vystupuje zatížení vrtulníkem umístěné na okraji ŽB desky. Jedná se o zatížení zahrnující dynamickou složku, která se uplatňuje pouze v okamžiku přistání. Samotná vlastní tíha vrtulníku bez dynamického navýšení je zahrnuta v kombinacích STŘ2, OKR2 a OKR5.

Konstrukce na mezní stav použitelnosti vyhovuje.

PRŮHYBY OD KOMBINACE STŘ1

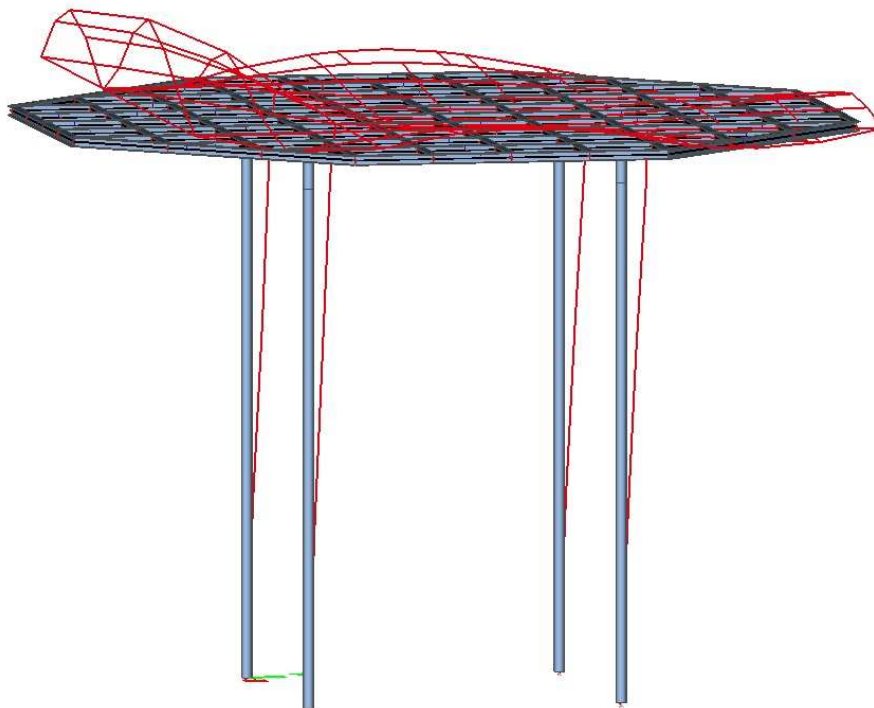


PRŮHYBY OD KOMBINACE OKR2

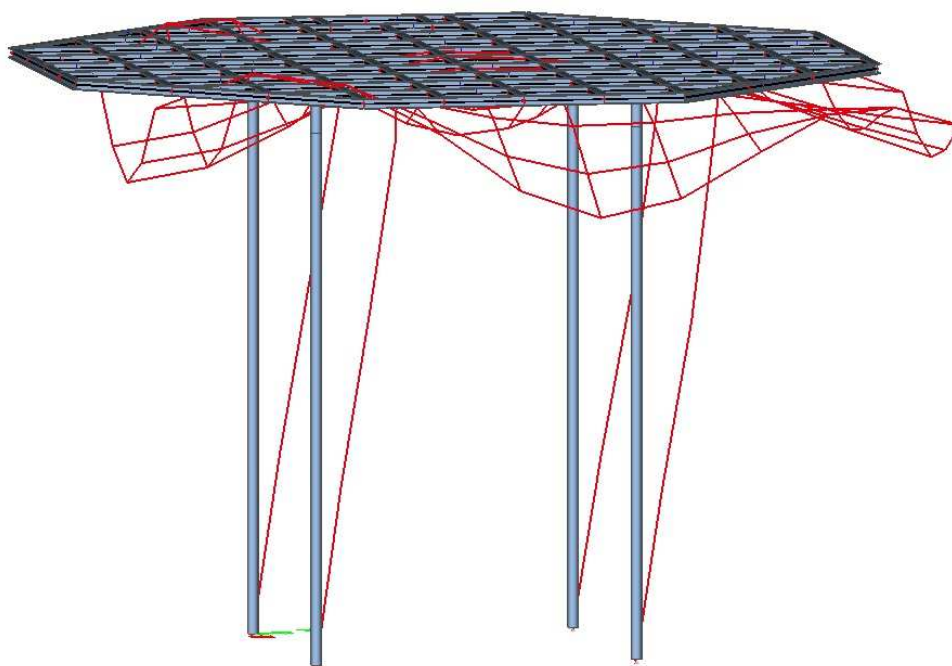


Obr. 10.1: Průhyby od kombinací STŘ1 a OKR2

PRŮHYBY OD KOMBINACE OKR3

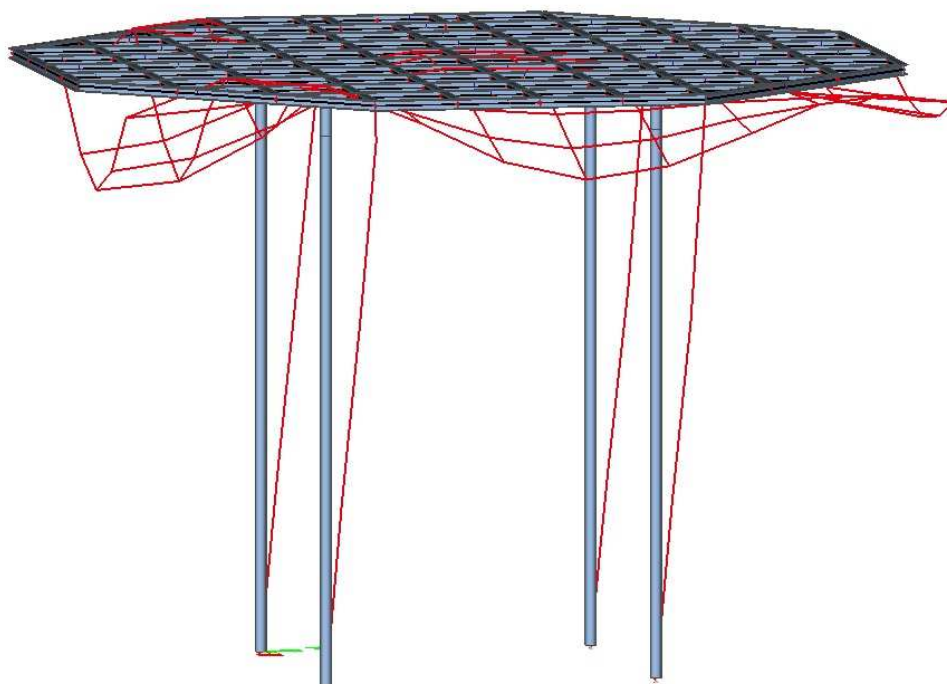


PRŮHYBY OD KOMBINACE OKR4

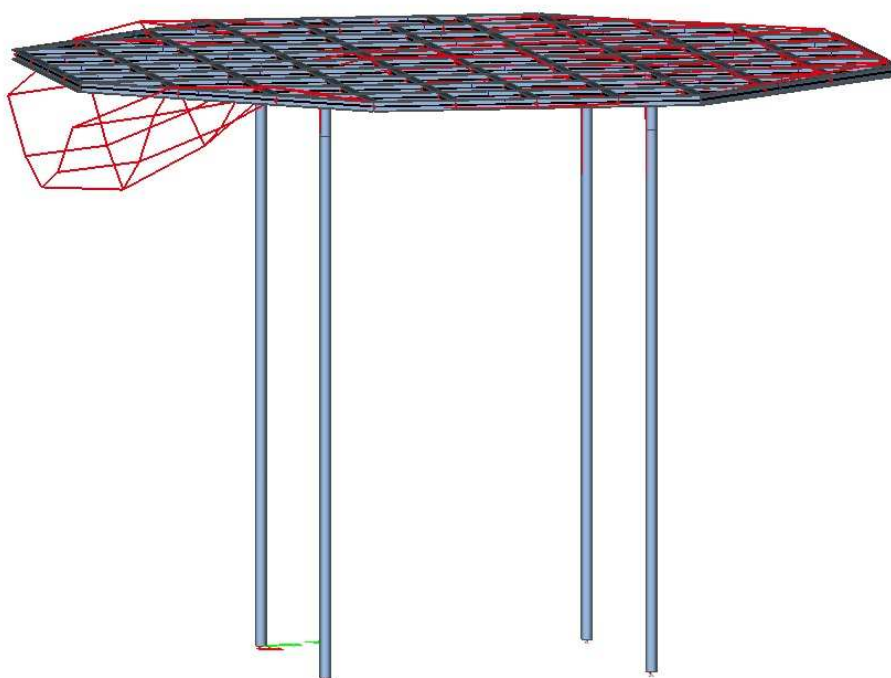


Obr. 10.2: Průhyby od kombinací OKR3 a OKR4

PRŮHYBY OD KOMBINACE OKR5



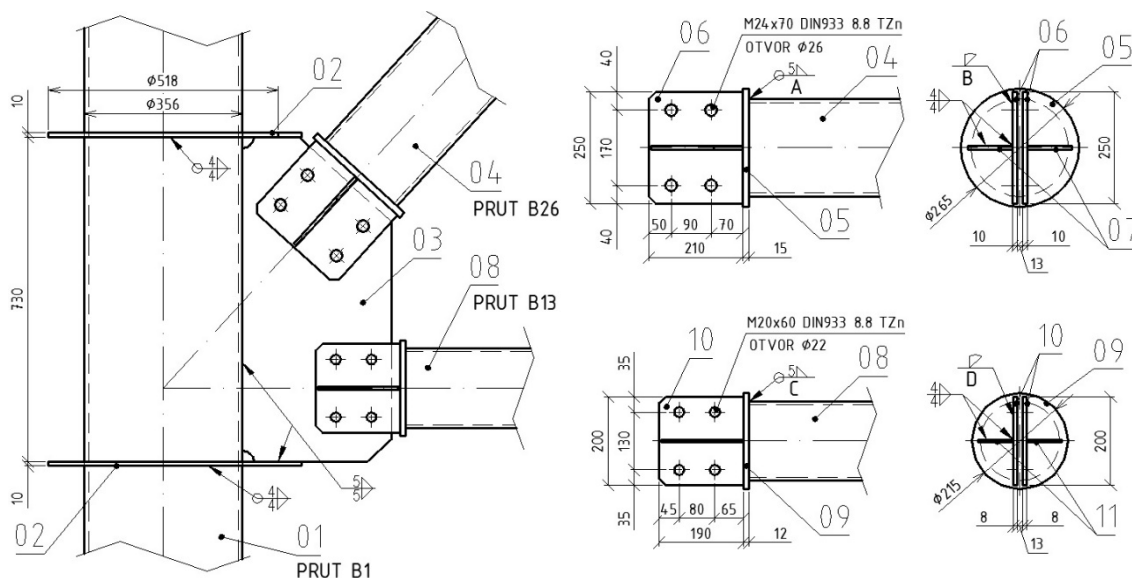
PRŮHYBY OD KOMBINACE OKR6



Obr. 10.3: Průhyby od kombinací OKR5 a OKR6

11 SPOJE

11.1 Přípoj A



PRUT B26 (B44)		PRUT B13	POZICE PŘÍPOJE
KOMBINACE NK D4/3		KOMBINACE NK D4/3	01 TR $\Phi 355,6 \times 10 - 12000$
$N = -504,32 \text{ kN}$		$N = 336,62 \text{ kN}$	02 PL10 – 10 x 10
$V_y = 0,00 \text{ kN}$		$V_y = -0,47 \text{ kN}$	03 PL12 – 10 x 10
$V_z = 0,71 \text{ kN}$		$V_z = 0,55 \text{ kN}$	04 TR $\Phi 219 \times 8 - 12000$
$M_x = -0,30 \text{ kNm}$		$M_x = -0,24 \text{ kNm}$	05 PL15 – 265 x 265
$M_y = 0,00 \text{ kNm}$		$M_y = 0,00 \text{ kNm}$	06 PL10 – 210 x 250
$M_z = 0,00 \text{ kNm}$		$M_z = 0,00 \text{ kNm}$	07 PL8 – 100 x 205
KOMBINACE NK C3/20			08 TR $\Phi 178 \times 6,3 - 12000$
$N = 300,22 \text{ kN}$			09 PL12 – 215 x 215
$V_y = -0,16 \text{ kN}$			10 PL8 – 190 x 200
$V_z = -1,50 \text{ kN}$			11 PL6 – 80 x 185
$M_x = 0,12 \text{ kNm}$			
$M_y = 0,00 \text{ kNm}$			
$M_z = 0,00 \text{ kNm}$			

Obr. 11.1: Schéma, vnitřní síly a pozice přípoje A

Posouzení zohledňuje pouze normálovou sílu, ostatní vnitřní síly jsou zanedbatelné.

1) PRUT B26 (B44)

➤ Tlak – oslabený průřez pozic 06

$$\frac{N_{Ed}}{N_{U,Rd}} = \frac{504,32}{1961,5} = 0,26 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$A_{NET} = (2 \cdot 250 \cdot 10 - 4 \cdot 10 \cdot 26) + 2 \cdot 100 \cdot 8 = 5560 \text{ mm}^2$$

$$N_{U,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{NET} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 3,96 \cdot 10^{-3} \cdot 490 \cdot 10^6}{1,25} = 1961,5 \text{ kN}$$

➤ Posouzení 1 šroubu M24 x 70 DIN 933 8.8 TZn

Střih

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{504,32/4}{271,1} = 0,47 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{v,Rd} = \frac{n \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} = 271,1 \text{ kN}$$

Otlačení

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{504,32/4}{180,9} = 0,70 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,50 \cdot 0,64 \cdot 490 \cdot 24 \cdot 12}{1,25} = 180,9 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{40}{26} - 1,7 = 2,61; 1,4 \cdot \frac{170}{26} - 1,7 = 7,45; 2,5 \right\} = 2,50$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{50}{3 \cdot 26} = 0,64; \frac{90}{3 \cdot 26} - 0,25 = 0,90; \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{490} = 1,63; 1,0 \right\} = 0,64$$

➤ Svar A

$$a_\omega = 5 \text{ mm}$$

$$\sigma_\omega = \frac{N_{Ed}}{a_\omega \cdot \pi d} = \frac{300220}{0,005 \cdot \pi \cdot 0,219} = 87,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_\perp = \sigma_\perp = \frac{\sigma_\omega}{\sqrt{2}} = \frac{87,3}{\sqrt{2}} = 61,7 \text{ MPa}, \quad \tau_\parallel = 0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M,2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M,2}}$$

$$\sqrt{61,7^2 + 3 \cdot 61,7^2} = 123,4 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$61,7 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE: využití je 28 %

➤ **Svar B**

Únosnost tupého svaru na plné provaření je rovna únosnosti přivařeného plechu (pozice 06).

2) PRUT B13

➤ **Tah – oslabený průřez pozic 10**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{U,Rd}} = \frac{336,62}{1219,3} = 0,28 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$A_{NET} = (2 \cdot 200 \cdot 8 - 4 \cdot 8 \cdot 22) + 2 \cdot 80 \cdot 6 = 3456 \text{ mm}^2$$

$$N_{U,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{NET} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 3,456 \cdot 10^{-3} \cdot 490 \cdot 10^6}{1,25} = 1219,3 \text{ kN}$$

➤ **Posouzení 1 šroubu M20 x 60 DIN 933 8.8 TZn**

Střih

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{336,62/4}{271,1} = 0,45 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{v,Rd} = \frac{n \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 800 \cdot 245}{1,25} = 188,2 \text{ kN}$$

Otlačení

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{336,62/4}{166,9} = 0,50 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,50 \cdot 0,68 \cdot 490 \cdot 20 \cdot 12}{1,25} = 160,4 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{35}{22} - 1,7 = 2,75; 1,4 \cdot \frac{130}{22} - 1,7 = 6,57; 2,5 \right\} = 2,50$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{45}{3 \cdot 22} = 0,68; \frac{80}{3 \cdot 22} - 0,25 = 0,96; \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{490} = 1,63; 1,0 \right\} = 0,68$$

➤ **Svar C**

$$a_\omega = 5 \text{ mm}$$

$$\sigma_\omega = \frac{N_{Ed}}{a_\omega \cdot \pi d} = \frac{336620}{0,005 \cdot \pi \cdot 0,178} = 131,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_\perp = \sigma_\perp = \frac{\sigma_\omega}{\sqrt{2}} = \frac{131,1}{\sqrt{2}} = 92,7 \text{ MPa}, \quad \tau_\parallel = 0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3 \cdot \tau_\perp^2 + 3 \cdot \tau_\parallel^2} \leq \frac{f_u}{\beta_\omega \cdot \gamma_{M,2}} \wedge \sigma_\perp \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M,2}}$$

$$\sqrt{92,7^2 + 3 \cdot 92,7^2} = 185,4 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$92,7 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE: využití je 43 %

➤ **Svar D**

Únosnost tupého svaru na plné provaření je rovna únosnosti přivařeného plechu (pozice 10).

3) VÝZTUŽNÉ KROUŽKY (POZICE 02)

Pozice 02 fixují pozici 03 a současně zabraňují lokálnímu namáhání sloupu. Kroužky jsou dimenzovány na největší tahovou sílu ve ztužidlech.

$$\frac{N_{Ed1}}{N_{PL,Rd}} = \frac{336,62 / \cos 45}{1568,0} = 0,40 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$A = 4 \cdot 80 \cdot 10 = 3200 \text{ mm}^2$$

$$N_{PL,Rd} = \frac{A \cdot f_u}{\gamma_{M0}} = \frac{3,20 \cdot 10^{-3} \cdot 490 \cdot 10^6}{1,00} = 1568,0 \text{ kN}$$

Tab. 11.1: Vnitřní síly a pozice přípoje B

PRUT B60		PRUT B176		PRUT B165	
KOMBINACE MO A/4		KOMBINACE NK B2/2		KOMBINACE NK C1/24	
N	= 531,14 kN	N	= 593,13 kN	N	= 187,26 kN
V _y	= 1,85 kN	V _y	= -2,06 kN	V _y	= -2,06 kN
V _z	= 26,83 kN	V _z	= 3,72 kN	V _z	= 3,72 kN
M _x	= -0,03 kNm	M _x	= 0,07 kNm	M _x	= 0,07 kNm
M _y	= -35,73 kNm	M _y	= -5,58 kNm	M _y	= -5,58 kNm
M _z	= -1,23 kNm	M _z	= 2,66 kNm	M _z	= 2,66 kNm

POZICE PŘÍPOJE					
01	TR Φ355,6x10 - 2150	09	PL25 – 170 x 405	17	HEA300
02	4HR 160x8 - 1090	10	PL10 – 80 x 182	18	HEA300 - 10200
03	IPE300	11	PL10 – 80 x 130	19	PL15 – 537 x 537
04	PL15 – 300 x 430	12	PL10 – 190 x 385	20	PL20 – 320 x 330
05	PL10 – 517 x 517	13	PL8 – 70 x 375	21	PL8 – 182 x 266
06	PL12 – 720 x 720	14	PL4 – 112 x 112		
07	PL6 – 340 x 340	15	IPE300 - 10180		
08	PL8 – 182 x 276	16	TR Φ355,6x10		

1) PRUT B176 - Ztužení příhradových vazníků

➤ Tah – oslabený průřez pozic 12

$$\frac{N_{Ed}}{N_{U,Rd}} = \frac{593,13}{1312,4} = 0,44 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$A_{NET} = (2 \cdot 190 \cdot 10 - 4 \cdot 10 \cdot 30) + 2 \cdot 8 \cdot 70 = 3720 \text{ mm}^2$$

$$N_{U,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{NET} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 3720 \cdot 10^{-3} \cdot 490 \cdot 10^6}{1,25} = 1312,4 \text{ kN}$$

➤ **Posouzení 1 šroubu M27 x 75 DIN 933 8.8 TZn**

Střih

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{593,13/4}{352,5} = 0,42 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{v,Rd} = \frac{n \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 800 \cdot 459}{1,25} = 352,5 \text{ kN}$$

Otlačení

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{593,13/4}{276,8} = 0,54 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,50 \cdot 0,67 \cdot 490 \cdot 27 \cdot 15}{1,25} = 265,9 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{45}{30} - 1,7 = 2,50; 1,4 \cdot \frac{100}{30} - 1,7 = 2,97; 2,50 \right\} = 2,50$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{60}{3 \cdot 30} = 0,67; \frac{100}{3 \cdot 30} - 0,25 = 0,86; \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{490} = 1,63; 1,0 \right\} = 0,67$$

Tah

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{41,2}{264,4} = 0,16 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{t,Ed} = F_{t,My} + F_{t,Mz} = 27,9 + 13,3 = 41,2 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 459}{1,25} = 264,4 \text{ kN}$$

$$F_{t,My} = M_{Ed,y} / (2 \cdot 0,1) = 5580 / (2 \cdot 0,1) = 27,9 \text{ kN}$$

$$F_{t,Mz} = M_{Ed,z} / (2 \cdot 0,1) = 2660 / (2 \cdot 0,1) = 13,3 \text{ kN}$$

Nepatrný vliv posouvajících sil a kroutícího momentu se zanedbává.

Tah a střih

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{148,3}{352,5} + \frac{41,2}{1,4 \cdot 264,4} = 0,53 \leq 1,0$$

Vyhovuje

➤ Svar A

$$a_{\omega} = 4 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{a_{\omega} \cdot 12 \cdot l} = \frac{593130}{0,004 \cdot 12 \cdot 0,150} = 82,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{v_{Ed,y}}{a_{\omega} \cdot 12 \cdot l} = \frac{2060}{0,004 \cdot 12 \cdot 0,150} = 0,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{0,3}{\sqrt{2}} = 0,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{v_{Ed,z}}{a_{\omega} \cdot 12 \cdot l} = \frac{3720}{0,004 \cdot 12 \cdot 0,150} = 0,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{0,5}{\sqrt{2}} = 0,4 \text{ MPa}$$

Napětí od ohybových momentů vztažené k nejvíce namáhanému místu.

$$\sigma_{\omega} = \frac{M_{Ed,y} \cdot z}{4 \cdot I_y} = \frac{5580 \cdot 0,096}{4 \cdot 2 \cdot (1/12 \cdot 0,150 \cdot 0,004^3 + 0,150 \cdot 0,004 \cdot 0,06^2)} = 31,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{31,0}{\sqrt{2}} = 21,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{M_{Ed,z} \cdot y}{2 \cdot I_z} = \frac{2260 \cdot 0,075}{2 \cdot (1/12 \cdot 0,008 \cdot 0,150^3)} = 37,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{37,7}{\sqrt{2}} = 26,7 \text{ MPa}$$

Součet napětí:

$$\Sigma \tau_{\parallel} = 82,4 \text{ MPa}$$

$$\Sigma \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 0,2 + 0,4 + 21,9 + 26,7 = 49,2 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M,2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M,2}}$$

$$\sqrt{49,2^2 + 3 \cdot 49,2^2 + 3 \cdot 82,4^2} = 173,4 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$49,2 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 392,0 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE: využití je 40 %

2) PRUT B165 - Dolní pás příhradového vazníku

Síly v nejvíce namáhaných šroubech

$$F_{V,Ed} = \frac{\sqrt{V_{Ed,y}^2 + V_{Ed,z}^2}}{4} = \frac{\sqrt{0,1^2 + 1,8^2}}{4} = 0,5 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} + M_{Ed,y} \cdot \frac{z_1}{2 \cdot z_1^2 + 2 \cdot z_2^2} + M_{Ed,z} \cdot \frac{y_1}{2 \cdot y_1^2 + 2 \cdot y_2^2}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{187,3}{4} + 6,6 \cdot \frac{0,223}{2 \cdot 0,223^2 + 2 \cdot 0,053^2} + 1,7 \cdot \frac{0,215}{2 \cdot 0,215^2 + 2 \cdot 0,065^2}$$

$$F_{t,Ed} = 46,8 + 14,0 + 3,6 = 64,4 \text{ kN}$$

➤ Posouzení 1 šroubu M20 x 70 DIN 931 8.8 TZn

Střih

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{0,5}{94,1} = 0,01 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 245}{1,25} = 94,1 \text{ kN}$$

Tah

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{64,4}{141,1} = 0,46 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 245}{1,25} = 141,1 \text{ kN}$$

Otlačení

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{0,5}{392,0} = 0,00 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,50 \cdot 1,00 \cdot 490 \cdot 20 \cdot 20}{1,25} = 392,0 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{85}{22} - 1,7 = 9,12; 1,4 \cdot \frac{150}{22} - 1,7 = 7,85; 2,50 \right\} = 2,50$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{80}{3 \cdot 22} = 1,21; \frac{170}{3 \cdot 22} - 0,25 = 2,33; \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{490} = 1,63; 1,0 \right\} = 1,00$$

Protlačení

$$\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{64,4}{426,1} = 0,15 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 27,7 \cdot 20 \cdot 490}{1,25} = 409,4 \text{ kN}$$

Tah a střih

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{0,5}{94,1} + \frac{64,4}{1,4 \cdot 141,1} = 0,33 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Páčení

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{T,Rd}/2} = \frac{64,4}{141,1} = 0,46 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,Rd,1}; F_{T,Rd,2}; F_{T,Rd,3}) = \min(889,6; 374,2; 282,2) = 282,2 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd,1} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 14,9}{0,067} = 889,6 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd,2} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + 2n \cdot F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 16,4 + 2 \cdot 0,084 \cdot 141,1}{0,067 + 0,084} = 374,2 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd,3} = 2 \cdot F_{t,Rd} = 2 \cdot 141,1 = 282,2 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1} \cdot t_p^2 \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,25 \cdot 0,421 \cdot 0,020^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 14,9 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2} \cdot t_p^2 \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,25 \cdot 0,462 \cdot 0,020^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 16,4 \text{ kNm}$$

$$L_{eff,1} = \min(L_{eff,cp}; L_{eff,op}) = \min(0,421; 0,462) = 0,421 \text{ m}$$

$$L_{eff,2} = L_{eff,op} = 0,462 \text{ m}$$

$$n = e_{min}(e) = 0,085 \text{ m} \leq 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 0,067 = 0,084 \text{ m}; \quad n = 0,084 \text{ m}$$

$$m = 0,071 - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,071 - 0,8 \cdot 0,004 \cdot \sqrt{2} = 0,067 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{0,067}{0,067 + 0,085} = 0,44$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{0,040}{0,067 + 0,085} = 0,26$$

$$m_2 = 0,046 - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,046 - 0,8 \cdot 0,005 \cdot \sqrt{2} = 0,040 \text{ m}$$

$$z \text{ grafu} \rightarrow \alpha = 6,9$$

$$L_{eff,cp} = 2\pi m = 2\pi \cdot 0,067 = 0,421 \text{ m}$$

$$L_{eff,op} = \alpha m = 6,9 \cdot 0,067 = 0,462 \text{ m}$$

➤ Svar stojiny

$$a_\omega = 3 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{v_{Ed,z}}{A_{\omega,z}} = \frac{1830}{0,003 \cdot 2 \cdot 0,262} = 1,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_\omega = \frac{M_{Ed,y}}{I_{\omega,y}} \cdot z = \frac{6620 \cdot 0,131}{1,30 \cdot 10^{-4}} = 6,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_\omega}{\sqrt{2}} = \frac{6,7}{\sqrt{2}} = 4,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_\omega = \frac{N_{Ed}}{A_\omega} = \frac{187260}{7,91 \cdot 10^{-3}} = 23,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_\omega}{\sqrt{2}} = \frac{23,7}{\sqrt{2}} = 16,8 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_{\omega} \cdot \gamma_{M,2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M,2}}$$

$$\sqrt{21,5^2 + 3 \cdot 21,5^2 + 3 \cdot 1,2^2} = 43,1 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$21,5 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE: využití je 10 %

➤ Svar pásnice

$$a_{\omega} = 5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{M_{Ed,y}}{I_{\omega,y}} \cdot z = \frac{6620 \cdot 0,145}{1,30 \cdot 10^{-4}} = 7,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{7,4}{\sqrt{2}} = 5,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{M_{Ed,z}}{I_{\omega,z}} \cdot y = \frac{1720 \cdot 0,150}{5,62 \cdot 10^{-5}} = 4,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{4,6}{\sqrt{2}} = 3,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{N_{Ed}}{A_{\omega}} = \frac{187260}{7,91 \cdot 10^{-3}} = 23,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{23,7}{\sqrt{2}} = 16,8 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_{\omega} \cdot \gamma_{M,2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M,2}}$$

$$\sqrt{25,3^2 + 3 \cdot 25,3^2 + 3 \cdot 0,0^2} = 50,6 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$25,3 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE: využití je 14 %

3) PRUT B60 - Horní pás příhradového vazníku

Síly v nejvíce namáhaných šroubech

$$F_{v,Ed} = \frac{\sqrt{V_{Ed,y}^2 + V_{Ed,z}^2}}{6} = \frac{\sqrt{1,85^2 + 26,83^2}}{6} = 4,5 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{6} + M_{Ed,y} \cdot \frac{z_1}{2 \cdot z_1^2 + 2 \cdot z_2^2 + 2 \cdot z_3^2} + M_{Ed,z} \cdot \frac{y_1}{2 \cdot y_1^2 + 2 \cdot y_2^2}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{531,1}{6} + 35,7 \cdot \frac{0,345}{2 \cdot 0,345^2 + 2 \cdot 0,235^2 + 2 \cdot 0,055^2} + 1,2 \cdot \frac{0,110}{2 \cdot 0,110^2 + 2 \cdot 0,020^2}$$

$$F_{t,Ed} = 88,5 + 34,7 + 5,3 = 128,5 \text{ kN}$$

➤ Posouzení 1 šroubu M24 x 90 DIN 931 8.8 TZn

Střih

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{4,5}{135,6} = 0,03 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} = 135,6 \text{ kN}$$

Tah

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{128,5}{203,3} = 0,63 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} = 203,3 \text{ kN}$$

Otlačení

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{4,5}{275,4} = 0,02 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,50 \cdot 0,45 \cdot 490 \cdot 24 \cdot 25}{1,25} = 264,6 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{40}{26} - 1,7 = 9,12; 1,4 \cdot \frac{90}{22} - 1,7 = 3,07; 2,50 \right\} = 2,50$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{35}{3 \cdot 26} = 0,45; \frac{110}{3 \cdot 26} - 0,25 = 1,16; \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{490} = 1,63; 1,0 \right\} = 0,45$$

Protlačení

$$\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{128,5}{615,1} = 0,21 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 33,3 \cdot 25 \cdot 490}{1,25} = 615,1 \text{ kN}$$

Tah a střih

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{4,5}{135,6} + \frac{128,5}{1,4 \cdot 203,3} = 0,48 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Páčení

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{T,Rd}/2} = \frac{128,5}{203,3} = 0,63 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,Rd,1}; F_{T,Rd,2}; F_{T,Rd,3}) = \min(891,4; 424,9; 406,6) = 406,6 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd,1} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m_1} = \frac{4 \cdot 7,8}{0,035} = 891,4 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd,2} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + 2n \cdot F_{t,Rd}}{m_1 + n} = \frac{2 \cdot 7,8 + 2 \cdot 0,040 \cdot 203,3}{0,035 + 0,040} = 424,9 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd,3} = 2 \cdot F_{t,Rd} = 2 \cdot 203,3 = 406,6 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1} \cdot t_p^2 \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,25 \cdot 0,140 \cdot 0,025^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 7,8 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2} \cdot t_p^2 \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,25 \cdot 140 \cdot 0,025^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 7,8 \text{ kNm}$$

$$L_{eff,1} = \min(L_{eff,cp}; L_{eff,op}) = \min(0,000; 0,140) = 0,140 \text{ m}$$

$$L_{eff,2} = L_{eff,op} = 0,140 \text{ m}$$

$$n = e_{min}(e) = 0,040 \text{ m} \leq 1,25 \cdot m_1 = 1,25 \cdot 0,035 = 0,044 \text{ m}; \quad n = 0,040 \text{ m}$$

$$m_1 = 0,040 - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,040 - 0,8 \cdot 0,004 \cdot \sqrt{2} = 0,035 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = \frac{m_1}{m_1 + e} = \frac{0,035}{0,035 + 0,040} = 0,47$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m_1 + e} = \frac{0,045}{0,035 + 0,040} = 0,60$$

$$m_2 = 0,050 - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,050 - 0,8 \cdot 0,005 \cdot \sqrt{2} = 0,045 \text{ m}$$

$$z \text{ grafu} \rightarrow \alpha = 5,7$$

$$L_{eff,op} = \alpha m_1 - (2m_1 + 0,625e) + e_x = 5,7 \cdot 0,035 - (2 \cdot 0,035 + 0,625 \cdot 0,040) + 0,035$$

$$L_{eff,op} = 0,140 \text{ m}$$

➤ **Svar stojiny (bez vlivu svaru výztuhy)**

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{v_{Ed,z}}{A_{w,z}} = \frac{26830}{0,003 \cdot 2 \cdot 0,279} = 16,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed,y}}{I_{w,y}} \cdot z = \frac{35730 \cdot 0,140}{8,00 \cdot 10^{-5}} = 62,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{62,5}{\sqrt{2}} = 44,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{531100}{4,594 \cdot 10^{-3}} = 115,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{115,6}{\sqrt{2}} = 81,7 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M,2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M,2}}$$

$$\sqrt{125,9^2 + 3 \cdot 125,9^2 + 3 \cdot 16,0^2} = 253,3 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$125,9 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE: využití je 57 %

➤ **Svar pásnice (bez vlivu svaru výztuhy)**

$$a_w = 5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{M_{Ed,y}}{I_{\omega,y}} \cdot z = \frac{35730 \cdot 0,150}{8,00 \cdot 10^{-5}} = 67,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{67,0}{\sqrt{2}} = 47,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{M_{Ed,z}}{I_{\omega,z}} \cdot y = \frac{1230 \cdot 0,075}{8,15 \cdot 10^{-6}} = 11,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{11,3}{\sqrt{2}} = 8,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{N_{Ed}}{A_{\omega}} = \frac{531100}{4,594 \cdot 10^{-3}} = 115,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{115,6}{\sqrt{2}} = 81,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{v_{Ed,y}}{A_{\omega,y}} = \frac{1850}{0,005 \cdot 4 \cdot 0,150} = 0,6 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_{\omega} \cdot \gamma_{M,2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M,2}}$$

$$\sqrt{137,1^2 + 3 \cdot 137,1^2 + 3 \cdot 0,6^2} = 274,2 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

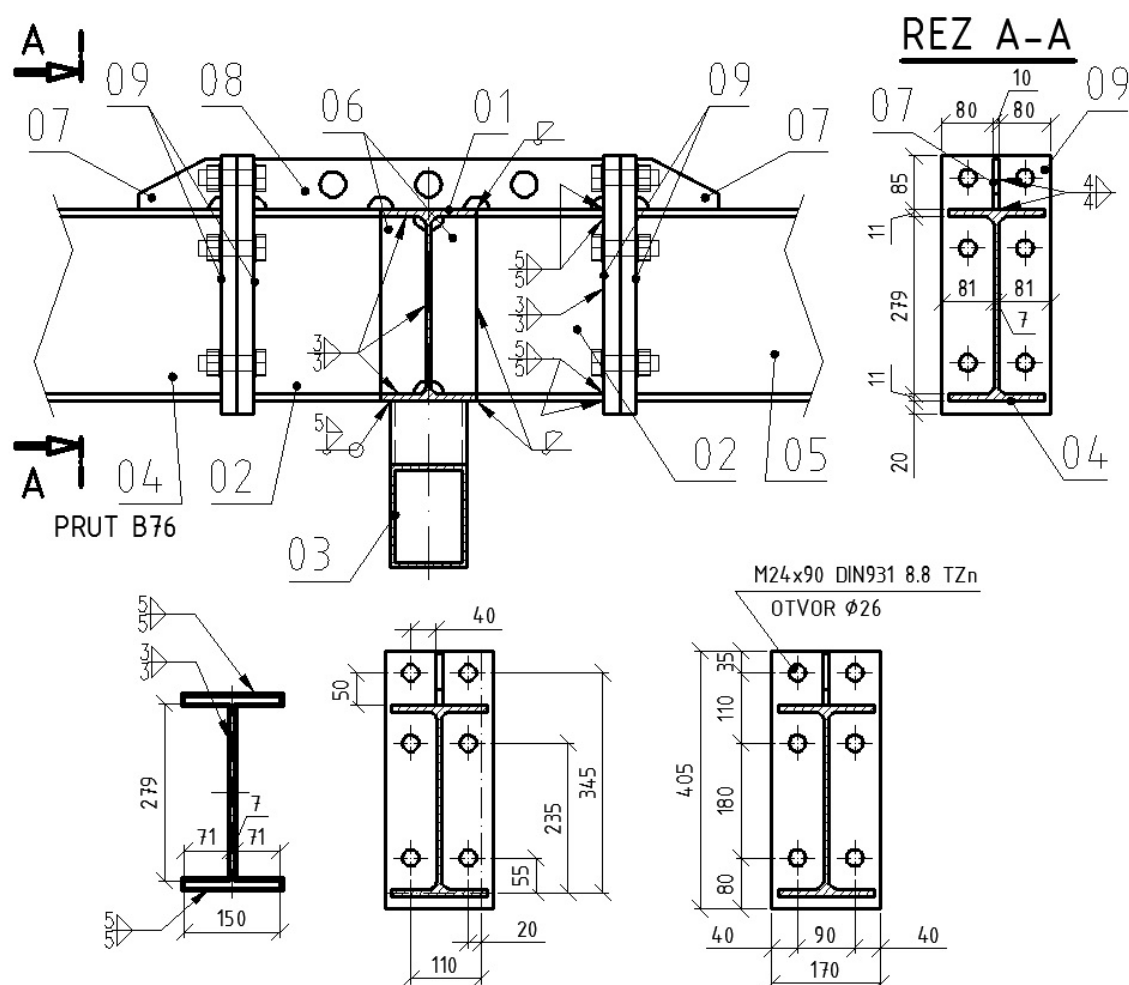
$$137,1 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE: využití je 61 %

4) Ostatní komponenty přípoje

Zbylé komponenty přípoje není žádoucí posuzovat, protože nepatří mezi jeho slabé články.

11.3 Příklad C



PRUT B76		POZICE PŘÍPOJE	
KOMBINACE MO A/4		01	IPE300
$N = -42,98 \text{ kN}$		02	IPE300 - 200
$V_y = -2,13 \text{ kN}$		03	4HR 160x8 - 1986
$V_z = 76,33 \text{ kN}$		04	IPE300
$M_x = -0,01 \text{ kNm}$		05	IPE300
$M_y = -121,54 \text{ kNm}$		06	PL8 – 71 x 279
$M_z = 2,19 \text{ kNm}$		07	PL10 – 80 x 130
		08	PL10 – 80 x 550
		09	PL25 – 170 x 405

Obr. 11.3: Schéma, vnitřní síly a pozice přípoje C

1) PRUT B76 – PRUT ROŠTU

Síly v nejvíce namáhaných šroubech

$$F_{V,Ed} = \frac{\sqrt{V_{Ed,y}^2 + V_{Ed,z}^2}}{6} = \frac{\sqrt{2,13^2 + 76,33^2}}{6} = 12,7 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{6} + M_{Ed,y} \cdot \frac{z_1}{2 \cdot z_1^2 + 2 \cdot z_2^2 + 2 \cdot z_3^2} + M_{Ed,z} \cdot \frac{y_1}{3 \cdot y_1^2 + 3 \cdot y_2^2}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{-43,0}{6} + 121,5 \cdot \frac{0,345}{2 \cdot 0,345^2 + 2 \cdot 0,235^2 + 2 \cdot 0,055^2} + 2,2 \cdot \frac{0,110}{3 \cdot 0,110^2 + 3 \cdot 0,020^2}$$

$$F_{t,Ed} = -7,2 + 118,2 + 6,5 = 117,5 \text{ kN}$$

➤ Posouzení 1 šroubu M24 x 90 DIN 931 8.8 TZn

Střih

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{12,7}{135,6} = 0,09 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} = 135,6 \text{ kN}$$

Tah

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{117,5}{203,3} = 0,58 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} = 203,3 \text{ kN}$$

Otlačení

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{12,7}{264,6} = 0,05 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,50 \cdot 0,45 \cdot 490 \cdot 24 \cdot 25}{1,25} = 264,6 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{40}{26} - 1,7 = 9,12; 1,4 \cdot \frac{90}{22} - 1,7 = 3,07; 2,50 \right\} = 2,50$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{35}{3 \cdot 26} = 0,45; \frac{110}{3 \cdot 26} - 0,25 = 1,16; \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{490} = 1,63; 1,0 \right\} = 0,45$$

Protlačení

$$\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{117,5}{615,1} = 0,19 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 33,3 \cdot 25 \cdot 490}{1,25} = 615,1 \text{ kN}$$

Tah a střih

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{12,7}{135,6} + \frac{117,5}{1,4 \cdot 203,3} = 0,51 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Páčení

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{T,Rd}/2} = \frac{117,5}{203,3} = 0,58 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,Rd,1}; F_{T,Rd,2}; F_{T,Rd,3}) = \min(891,4; 424,9; 406,6) = 406,6 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd,1} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m_1} = \frac{4 \cdot 7,8}{0,035} = 891,4 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd,2} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + 2n \cdot F_{t,Rd}}{m_1 + n} = \frac{2 \cdot 7,8 + 2 \cdot 0,040 \cdot 203,3}{0,035 + 0,040} = 424,9 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd,3} = 2 \cdot F_{t,Rd} = 2 \cdot 203,3 = 406,6 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1} \cdot t_p^2 \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,25 \cdot 0,140 \cdot 0,025^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 7,8 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2} \cdot t_p^2 \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,25 \cdot 0,140 \cdot 0,025^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 7,8 \text{ kNm}$$

$$L_{eff,1} = \min(L_{eff,cp}; L_{eff,op}) = \min(0,000; 0,140) = 0,140 \text{ m}$$

$$L_{eff,2} = L_{eff,op} = 0,140 \text{ m}$$

$$n = e_{min}(e) = 0,040 \text{ m} \leq 1,25 \cdot m_1 = 1,25 \cdot 0,035 = 0,044 \text{ m}; \quad n = 0,040 \text{ m}$$

$$m_1 = 0,040 - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,040 - 0,8 \cdot 0,004 \cdot \sqrt{2} = 0,035 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = \frac{m_1}{m_1 + e} = \frac{0,035}{0,035 + 0,040} = 0,47$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m_1 + e} = \frac{0,045}{0,035 + 0,040} = 0,60$$

$$m_2 = 0,050 - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,050 - 0,8 \cdot 0,005 \cdot \sqrt{2} = 0,045 \text{ m}$$

$$z \text{ grafu} \rightarrow \alpha = 5,7$$

$$L_{eff,op} = \alpha m_1 - (2m_1 + 0,625e) + e_x = 5,7 \cdot 0,035 - (2 \cdot 0,035 + 0,625 \cdot 0,040) + 0,035$$

$$L_{eff,op} = 0,140 \text{ m}$$

➤ **Svar stojiny (bez vlivu svaru výztuhy)**

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{v_{Ed,z}}{A_{w,z}} = \frac{76330}{0,003 \cdot 2 \cdot 0,279} = 45,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed,y}}{I_{w,y}} \cdot z = \frac{121540 \cdot 0,140}{8,00 \cdot 10^{-5}} = 212,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{212,7}{\sqrt{2}} = 150,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{0,0}{4,594 \cdot 10^{-3}} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{0,0}{\sqrt{2}} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M,2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M,2}}$$

$$\sqrt{150,4^2 + 3 \cdot 150,4^2 + 3 \cdot 45,6^2} = 311,0 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$150,4 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE: využití je 71 %

➤ **Svar pásnice (bez vlivu svaru výztuhy)**

$$a_{\omega} = 5 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{v_{Ed,y}}{A_{\omega,y}} = \frac{2130}{0,005 \cdot 4 \cdot 0,150} = 0,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{M_{Ed,y}}{I_{\omega,y}} \cdot z = \frac{121540 \cdot 0,150}{8,00 \cdot 10^{-5}} = 227,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{227,9}{\sqrt{2}} = 161,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{M_{Ed,z}}{I_{\omega,z}} \cdot y = \frac{2190 \cdot 0,075}{8,15 \cdot 10^{-6}} = 20,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{20,2}{\sqrt{2}} = 14,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{N_{Ed}}{A_{\omega}} = \frac{0,0}{4,594 \cdot 10^{-3}} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{0,0}{\sqrt{2}} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_{\omega} \cdot \gamma_{M,2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M,2}}$$

$$\sqrt{181,3^2 + 3 \cdot 181,3^2 + 3 \cdot 0,7^2} = 362,6 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

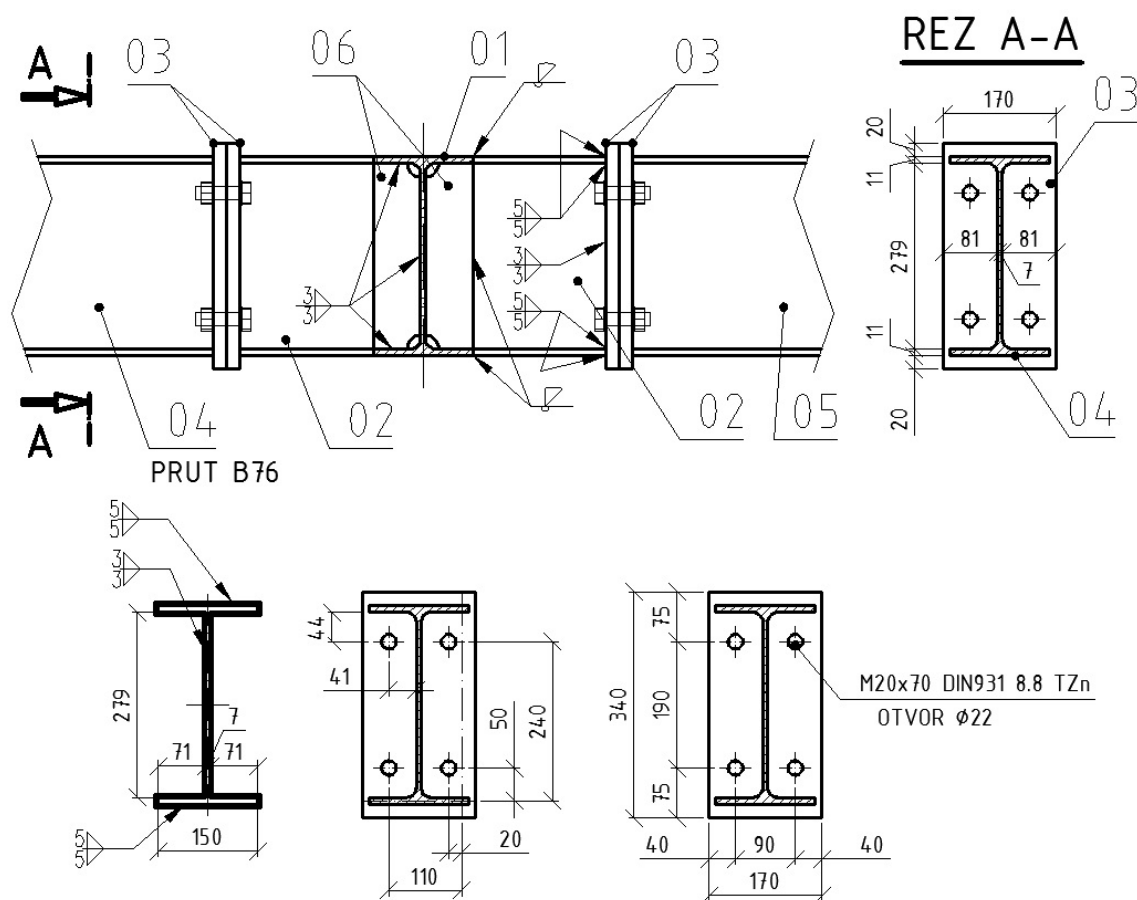
$$181,3 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE: využití je 82 %

2) Ztužení příhradových nosníků – profil 4HR 160x8

Ztužidla jsou plně provařena k profilům IPE300 a HEA300 a následně ještě ovařena koutovým svarem 5 mm. Únosnost svaru je tedy stejná jako únosnost ztužidla.

11.4 Přípoj D



PRUT B82		POZICE PŘÍPOJE	
KOMBINACE MO A/1		01	IPE300
N	= 67,63 kN	02	IPE300 - 200
V_y	= -1,22 kN	03	PL20 – 170 x 340
V_z	= 28,20 kN	04	IPE300
M_x	= 0,00 kNm	05	IPE300
M_y	= -25,76 kNm	06	PL8 – 71 x 279
M_z	= 0,72 kNm		

Obr. 11.4: Schéma, vnitřní síly a pozice přípoje D

Síly v nejvíce namáhaných šroubech

$$F_{V,Ed} = \frac{\sqrt{V_{Ed,y}^2 + V_{Ed,z}^2}}{4} = \frac{\sqrt{1,2^2 + 28,2^2}}{4} = 7,1 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} + M_{Ed,y} \cdot \frac{z_1}{2 \cdot z_1^2 + 2 \cdot z_2^2} + M_{Ed,z} \cdot \frac{y_1}{2 \cdot y_1^2 + 2 \cdot y_2^2}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{67,6}{4} + 25,8 \cdot \frac{0,240}{2 \cdot 0,240^2 + 2 \cdot 0,050^2} + 0,7 \cdot \frac{0,110}{2 \cdot 0,110^2 + 2 \cdot 0,020^2}$$

$$F_{t,Ed} = 16,9 + 51,5 + 3,1 = 71,5 \text{ kN}$$

➤ Posouzení 1 šroubu M20 x 70 DIN 931 8.8 TZn

Střih

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{7,1}{94,1} = 0,08 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 245}{1,25} = 94,1 \text{ kN}$$

Tah

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{71,5}{141,1} = 0,51 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 245}{1,25} = 141,1 \text{ kN}$$

Otlačení

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{7,1}{392,0} = 0,02 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,50 \cdot 1,00 \cdot 490 \cdot 20 \cdot 20}{1,25} = 392,0 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{40}{22} - 1,7 = 3,39; 1,4 \cdot \frac{90}{22} - 1,7 = 4,03; 2,50 \right\} = 2,50$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{75}{3 \cdot 22} = 1,14; \frac{190}{3 \cdot 22} - 0,25 = 2,63; \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{510} = 1,57; 1,0 \right\} = 1,00$$

Protlačení

$$\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{71,5}{409,4} = 0,18 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 27,7 \cdot 20 \cdot 490}{1,25} = 409,4 \text{ kN}$$

Tah a střih

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{7,1}{94,1} + \frac{71,5}{1,4 \cdot 141,1} = 0,44 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Páčení

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{T,Rd}/2} = \frac{71,5}{141,1} = 0,51 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,Rd,1}; F_{T,Rd,2}; F_{T,Rd,3}) = \min(894,7; 380,6; 282,2) = 282,2 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd,1} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 8,5}{0,038} = 894,7 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd,2} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + 2n \cdot F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 9,2 + 2 \cdot 0,040 \cdot 141,1}{0,038 + 0,040} = 380,6 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd,3} = 2 \cdot F_{t,Rd} = 2 \cdot 141,1 = 282,2 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1} \cdot t_p^2 \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,25 \cdot 0,239 \cdot 0,020^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 8,5 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2} \cdot t_p^2 \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,25 \cdot 0,258 \cdot 0,020^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 9,2 \text{ kNm}$$

$$L_{eff,1} = \min(L_{eff,cp}; L_{eff,op}) = \min(0,239; 0,258) = 0,239 \text{ m}$$

$$L_{eff,2} = L_{eff,op} = 0,258 \text{ m}$$

$$n = e_{min}(e) = 0,040 \text{ m} \leq 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 0,038 = 0,048 \text{ m}; \quad n = 0,040 \text{ m}$$

$$m = 0,041 - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,041 - 0,8 \cdot 0,003 \cdot \sqrt{2} = 0,038 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{0,038}{0,038 + 0,040} = 0,49$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{0,039}{0,038 + 0,040} = 0,50$$

$$m_2 = 0,044 - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,044 - 0,8 \cdot 0,005 \cdot \sqrt{2} = 0,039 \text{ m}$$

$$z \text{ grafu} \rightarrow \alpha = 6,8$$

$$L_{eff,cp} = 2\pi m = 2\pi \cdot 0,038 = 0,239 \text{ m}$$

$$L_{eff,op} = \alpha m = 6,8 \cdot 0,038 = 0,258 \text{ m}$$

➤ Svar stojiny

$$a_\omega = 3 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{v_{Ed,z}}{A_{\omega,z}} = \frac{28200}{0,003 \cdot 2 \cdot 0,279} = 16,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_\omega = \frac{M_{Ed,y}}{I_{\omega,y}} \cdot z = \frac{25800 \cdot 0,140}{8,00 \cdot 10^{-5}} = 45,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_\omega}{\sqrt{2}} = \frac{45,2}{\sqrt{2}} = 32,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_\omega = \frac{N_{Ed}}{A_\omega} = \frac{67600}{4,594 \cdot 10^{-3}} = 14,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_\omega}{\sqrt{2}} = \frac{14,7}{\sqrt{2}} = 10,4 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_\omega \cdot \gamma_{M,2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M,2}}$$

$$\sqrt{42,4^2 + 3 \cdot 42,4^2 + 3 \cdot 16,8^2} = 89,7 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$42,4 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE: využití je 21 %

➤ **Svar pásnice**

$$a_{\omega} = 5 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{v_{Ed,y}}{A_{\omega,y}} = \frac{1220}{0,005 \cdot 4 \cdot 0,150} = 0,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{M_{Ed,y}}{I_{\omega,y}} \cdot z = \frac{25800 \cdot 0,150}{8,00 \cdot 10^{-5}} = 48,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{48,4}{\sqrt{2}} = 34,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{M_{Ed,z}}{I_{\omega,z}} \cdot y = \frac{720 \cdot 0,075}{8,15 \cdot 10^{-6}} = 6,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{6,6}{\sqrt{2}} = 4,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{N_{Ed}}{A_{\omega}} = \frac{67600}{4,594 \cdot 10^{-3}} = 14,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{14,7}{\sqrt{2}} = 10,4 \text{ MPa}$$

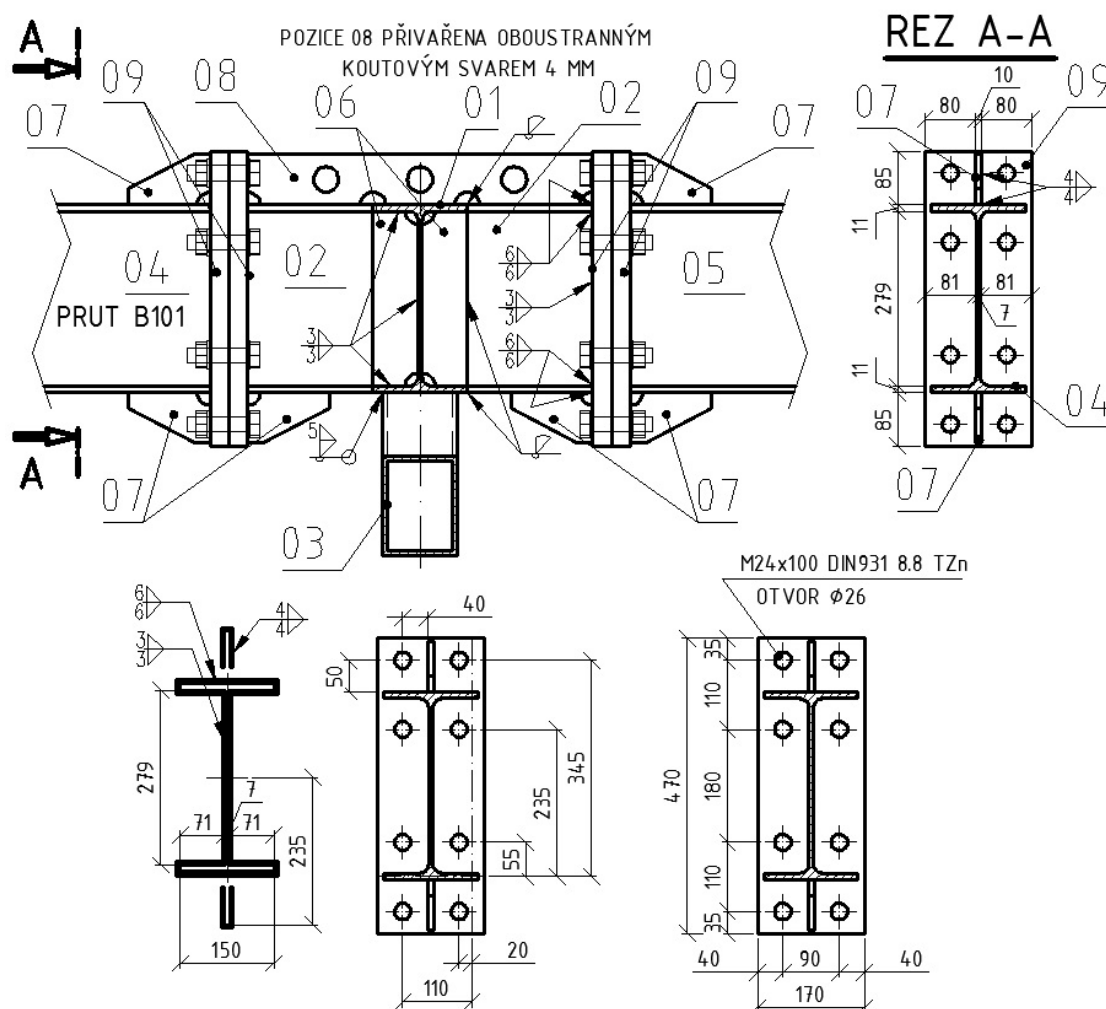
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_{\omega} \cdot \gamma_{M,2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M,2}}$$

$$\sqrt{49,3^2 + 3 \cdot 49,3^2 + 3 \cdot 0,4^2} = 98,6 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$49,3 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE: využití je 23 %

11.5 Přípoj E



PRUT B101		POZICE PŘÍPOJE	
KOMBINACE MO A/2		01	IPE300 - 10180
N	$= -8,31 \text{ kN}$	02	IPE300 - 200
V_y	$= -0,11 \text{ kN}$	03	4HR 160x8 - 1986
V_z	$= 106,40 \text{ kN}$	04	IPE300
M_x	$= 0,00 \text{ kNm}$	05	IPE300 - 10330
M_y	$= -185,26 \text{ kNm}$	06	PL8 – 71 x 279
M_z	$= 0,16 \text{ kNm}$	07	PL10 – 80 x 130
Spoj je v jiných kombinacích značně namáhán i kladnými momenty, proto jsou navrženy šrouby i pod spodní pásnicí.		08	PL10 – 80 x 550
		09	PL30 – 170 x 470

Obr. 11.5: Schéma, vnitřní síly a pozice přípoje E

1) PRUT B76 – PRUT ROŠTU

Síly v nejvíce namáhaných šroubech

$$F_{V,Ed} = \frac{\sqrt{V_{Ed,y}^2 + V_{Ed,z}^2}}{8} = \frac{\sqrt{0,1^2 + 106,4^2}}{8} = 13,3 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{8} + M_{Ed,y} \cdot \frac{z_1}{2 \cdot z_1^2 + 2 \cdot z_2^2 + 2 \cdot z_3^2} + M_{Ed,z} \cdot \frac{y_1}{4 \cdot y_1^2 + 4 \cdot y_2^2}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{-8,3}{8} + 185,3 \cdot \frac{0,345}{2 \cdot 0,345^2 + 2 \cdot 0,235^2 + 2 \cdot 0,055^2} + 0,2 \cdot \frac{0,110}{4 \cdot 0,110^2 + 4 \cdot 0,020^2}$$

$$F_{t,Ed} = -1,0 + 180,3 + 0,4 = 179,7 \text{ kN}$$

➤ Posouzení 1 šroubu M24 x 100 DIN 931 10.9 TZn

Střih

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{13,3}{135,6} = 0,10 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} = 135,6 \text{ kN}$$

Tah

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{179,7}{203,3} = 0,88 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} = 203,3 \text{ kN}$$

Otlačení

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{13,3}{317,5} = 0,04 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,50 \cdot 0,45 \cdot 490 \cdot 24 \cdot 30}{1,25} = 317,5 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{40}{26} - 1,7 = 9,12; 1,4 \cdot \frac{90}{22} - 1,7 = 3,07; 2,50 \right\} = 2,50$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{35}{3 \cdot 26} = 0,45; \frac{110}{3 \cdot 26} - 0,25 = 1,16; \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{510} = 1,57; 1,0 \right\} = 0,45$$

Protlačení

$$\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{179,7}{738,2} = 0,24 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 33,3 \cdot 30 \cdot 490}{1,25} = 738,2 \text{ kN}$$

Tah a střih

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{13,1}{135,6} + \frac{179,7}{1,4 \cdot 203,3} = 0,73 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Páčení

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{T,Rd}/2} = \frac{179,7}{203,3} = 0,88 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,Rd,1}; F_{T,Rd,2}; F_{T,Rd,3}) = \min(1280,0; 515,5; 406,6) = 406,6 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd,1} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m_1} = \frac{4 \cdot 11,2}{0,035} = 1280,0 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd,2} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + 2n \cdot F_{t,Rd}}{m_1 + n} = \frac{2 \cdot 11,2 + 2 \cdot 0,040 \cdot 203,3}{0,035 + 0,040} = 515,5 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd,3} = 2 \cdot F_{t,Rd} = 2 \cdot 203,3 = 406,6 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1} \cdot t_p^2 \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,25 \cdot 0,140 \cdot 0,030^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 11,2 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2} \cdot t_p^2 \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,25 \cdot 0,140 \cdot 0,030^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 11,2 \text{ kNm}$$

$$L_{eff,1} = \min(L_{eff,cp}; L_{eff,op}) = \min(0,000; 0,140) = 0,140 \text{ m}$$

$$L_{eff,2} = L_{eff,op} = 0,140 \text{ m}$$

$$n = e_{min}(e) = 0,040 \text{ m} \leq 1,25 \cdot m_1 = 1,25 \cdot 0,035 = 0,044 \text{ m}; \quad n = 0,040 \text{ m}$$

$$m_1 = 0,040 - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,040 - 0,8 \cdot 0,004 \cdot \sqrt{2} = 0,035 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = \frac{m_1}{m_1 + e} = \frac{0,035}{0,035 + 0,040} = 0,47$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m_1 + e} = \frac{0,045}{0,035 + 0,040} = 0,60$$

$$m_2 = 0,050 - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,050 - 0,8 \cdot 0,005 \cdot \sqrt{2} = 0,045 \text{ m}$$

$$z \text{ grafu} \rightarrow \alpha = 5,7$$

$$L_{eff,op} = \alpha m_1 - (2m_1 + 0,625e) + e_x = 5,7 \cdot 0,035 - (2 \cdot 0,035 + 0,625 \cdot 0,040) + 0,035$$

$$L_{eff,op} = 0,140 \text{ m}$$

➤ Svar stojiny (výztuhy)

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{v_{Ed,z}}{A_{\omega,z}} = \frac{106400}{2,634 \cdot 10^{-3}} = 40,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{M_{Ed,y}}{I_{\omega,y}} \cdot z = \frac{185260 \cdot 0,235}{14,36 \cdot 10^{-5}} = 303,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{303,2}{\sqrt{2}} = 214,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{N_{Ed}}{A_{\omega}} = \frac{0,0}{6,234 \cdot 10^{-3}} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{0,0}{\sqrt{2}} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_{\omega} \cdot \gamma_{M,2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M,2}}$$

$$\sqrt{214,4^2 + 3 \cdot 214,4^2 + 3 \cdot 40,4^2} = 428,1 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$214,4 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE: využití je 98 %

➤ **Svar pásnice**

$$a_{\omega} = 6 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{v_{Ed,y}}{A_{\omega,y}} = \frac{110}{3,600 \cdot 10^{-3}} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{M_{Ed,y}}{I_{\omega,y}} \cdot z = \frac{185260 \cdot 0,150}{14,36 \cdot 10^{-5}} = 193,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{193,5}{\sqrt{2}} = 136,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{M_{Ed,z}}{I_{\omega,z}} \cdot y = \frac{160 \cdot 0,075}{10,13 \cdot 10^{-6}} = 1,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{1,2}{\sqrt{2}} = 0,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{N_{Ed}}{A_{\omega}} = \frac{0,0}{6,234 \cdot 10^{-3}} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{\omega}}{\sqrt{2}} = \frac{0,0}{\sqrt{2}} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_{\omega} \cdot \gamma_{M,2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M,2}}$$

$$\sqrt{137,6^2 + 3 \cdot 137,6^2 + 3 \cdot 0,0^2} = 275,2 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$137,6 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 367,2 \text{ MPa}$$

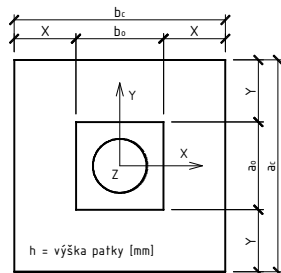
VYHOVUJE: využití je 63 %

2) Ztužení příhradových nosníků – profil 4HR 160x8

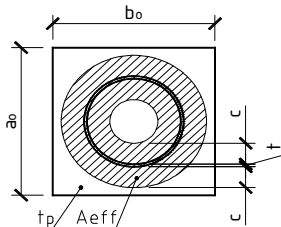
Ztužidla jsou plně provařena k profilu IPE300 (HEA300) a následně ještě ovařena koutovým svarem 5 mm. Únosnost svaru je tedy stejná jako únosnost ztužidla.

12 KOTVENÍ

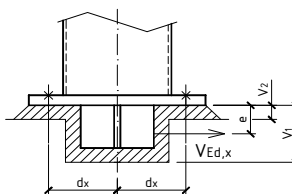
Obr. 1



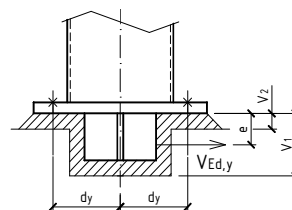
Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4



EXTRÉMNÍ SÍLY VE SLOUPU

			COLUMN	COMBI	N _{ed}	V _{ed,x}	V _{ed,y}
N _{ed,max}	-2573,5	1)	B4	NK B2/2	-2573,5	-16,5	-200,9
N _{ed,min}	811,6	2)	B4	C1/21	811,6	0,6	-7,8
V _{ed,x,max}	211,9	3)	B4	NK D4/20	-2114,5	211,9	-19,8
V _{ed,y,max}	231,9	4)	B4	NK B2/2	-2459,4	-9,1	-231,9
[kN]					[kN]		

A) POSUDEK PATKY NAMÁHANÉ NORMÁLOVOU SÍLOU

PATKA	KOTEVNÍ DESKA	Efektivní tlačená plocha
a _c [mm]	a _o [mm]	A _{eff} [mm ²]
1400	580	189130
b _c [mm]	b _o [mm]	
1400	580	
h [mm]	tloušťka t [mm]	
1000	35	
třída betonu C	ocel	
20/25	S355	

B) MAXIMÁLNÍ SÍLA V KOTEVNÍM ŠROUBU

d _x [mm]	231	d _y [mm]	231	v ₁ [mm]	150	v ₂ [mm]	50
šroub M	27	třída	8.8	f _{ub} [MPa]	800	A _s [mm ²]	459

C) POSOUZENÍ SMYKOVÉ ZARÁŽKY

p [mm]	110	q [mm]	20	ocel	S355	l [mm]	240
--------	-----	--------	----	------	------	--------	-----

D) POSOUZENÍ SVARU SMYKOVÉ ZARÁŽKY

svar a [mm]	8
-------------	---

E) POSOUZENÍ OTLAČENÍ BETONU

b ₁ [mm]	105	b ₂ [mm]	105	E [mm]	84
---------------------	-----	---------------------	-----	--------	----

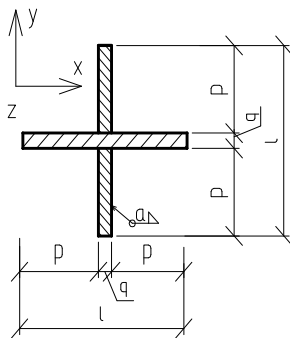
A) POSUDEK PATKY NAMÁHANÉ NORMÁLOVOU SÍLOU

Dílčí součinitel spolehlivosti	γ _{M0} [-]	1,00	Obr. 1 Obr. 2
Dílčí součinitel spolehlivosti pro beton	γ _c [-]	1,50	
Součinitel materiálu styčníku	β _j [-]	0,67	
a ₁ = min {3·a _o ; a _o +h; a _c } [mm]		1400	
b ₁ = min {3·b _o ; b _o +h; b _c } [mm]		1400	
Součinitel koncentrace napětí	k _j = √(a ₁ ·b ₁ / a _o ·b _o) [-]	2,41	
Návrhová pevnost v betonu	f _{jd} = (β _j ·k _j ·f _{ck}) / γ _c [MPa]	21,5	f _{ck} [MPa]
			20
Účinná šířka patní desky	c = t · √(f _y / (3·f _{jd} ·γ _{M0})) [mm]	82	
Efektivní plocha	A _{eff} [mm ²]	189130	
Únosnost patky	N _{Rd} = A _{eff} ·f _{jd} [kN]	4058,0	
Návrhová tlaková síla v patce	N _{Ed} [kN]	2573,5	
	N _{Ed} [kN] ≤ N _{Rd} [kN]		63%
	2573,5 ≤ 4058,0		VYHOVUJE

B) MAXIMÁLNÍ SÍLA V KOTEVNÍM ŠROUBU

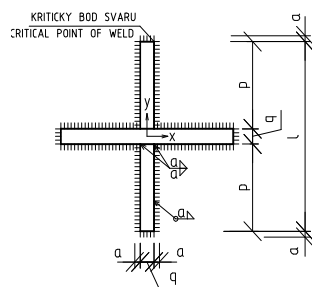
F _{t,Ed} = (N _{Ed} / 4) + (V _{Ed,x} ·e / (2·(d _x +d _o))) · (f / (2·(d _y +d _o))) · (f / (2·d _y)) [kN]		101,8	Obr. 3 Obr. 4
1) = -321,7 + 0,7 + 8,9 = -312,0	MAX	101,8	[kN]
2) = 101,4 + 0,0 + 0,3 = 101,8			
3) = -264,3 + 9,4 + 0,9 = -254,0			
4) = -307,4 + 0,4 + 10,3 = -296,7			
Dílčí součinitel spolehlivosti únosnosti šroubu	γ _{M2} [-]	1,25	
F _{t,Rd} = 0,85 · (0,9·f _{ub} ·A _s) / γ _{M2} [kN]		224,7	
F _{t,Ed} [kN] ≤ F _{t,Rd} [kN]	NAVRŽENO 8x M	27	45%
101,8 ≤ 224,7	TŘÍDA	8.8	VYHOVUJE

Obr. 5



Směr x			
$M_{x,Ed} = V_{Ed,y} \cdot e$ [kNm]	1,98	$M_{y,Ed} = V_{Ed,x} \cdot e$ [kNm]	21,19
Směr y			
$M_{x,Ed} = V_{Ed,y} \cdot e$ [kNm]	23,19	$M_{y,Ed} = V_{Ed,x} \cdot e$ [kNm]	0,91
$W_{x,pl} = W_{y,pl} = \frac{1}{4} \cdot q \cdot l^2$ [mm ³]	2,88E+05	$A_{v,x} = A_{v,y} = q \cdot l$ [mm ²]	4800
$V_{pl,Rd,x} = \frac{A_{v,x} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}$ [kN]	983,8	$V_{Ed,x} \leq V_{pl,Rd,x}$	22%
		211,94 ≤ 983,8	VYHOVUJE
$V_{pl,Rd,y} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}$ [kN]	983,8	$V_{Ed,y} \leq V_{pl,Rd,y}$	24%
		231,94 ≤ 983,8	VYHOVUJE
$M_{c,Rd,x} = \frac{W_{x,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ [kNm]	102,2	$M_{Ed,x} \leq M_{c,Rd,x}$	23%
		23,2 ≤ 102,2	VYHOVUJE
$M_{c,Rd,y} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ [kNm]	102,2	$M_{Ed,y} \leq M_{c,Rd,y}$	21%
		21,2 ≤ 102,2	VYHOVUJE
Směr x			
$\frac{M_{x,Ed}}{M_{c,Rd,x}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd,y}} \leq 1,00$	0,23	0,23 ≤ 1,00	23%
			VYHOVUJE
Podmínka plasticity:			
$W_x = W_y = \frac{1}{6} \cdot q \cdot l^2$ [mm ³]	1,92E+05	$\tau_{Ed} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,x} + V_{Ed,y}}{A_v}$ [MPa]	72,4
$\sigma_{x,Ed} = \frac{M_{x,Ed}}{W_x}$ [MPa]	10,3	$\sigma_{y,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y}$ [MPa]	110,4
$\left(\frac{\sigma_{x,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{y,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{y,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}\right) + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1,00$			
0,00 + 0,10 - 0,01 + 0,12 = 0,21	≤ 1,00		
			21%
			VYHOVUJE
Směr y			
$\frac{M_{x,Ed}}{M_{c,Rd,x}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd,y}} \leq 1,00$	0,24	0,24 ≤ 1,00	24%
			VYHOVUJE
Podmínka plasticity:			
$W_x = W_y = \frac{1}{6} \cdot q \cdot l^2$ [mm ³]	1,92E+05	$\tau_{Ed} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,x} + V_{Ed,y}}{A_v}$ [MPa]	75,3
$\sigma_{x,Ed} = \frac{M_{x,Ed}}{W_x}$ [MPa]	120,8	$\sigma_{y,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y}$ [MPa]	4,7
$\left(\frac{\sigma_{x,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{y,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{y,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}\right) + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1,00$			
0,12 + 0,00 - 0,00 + 0,14 = 0,25	≤ 1,00		
			25%
			VYHOVUJE

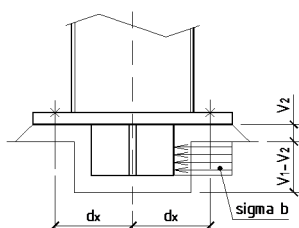
Obr. 6



D) POSOUZENÍ SVARU SMYKOVÉ ZARÁŽKY

Nepříznivé ve směru:		Y	Obr. 6
$A_{v,x} = A_{v,y} = 2 \cdot p \cdot 2 \cdot a$ [mm ²]		3520	
$I_y = I_x = \frac{1}{12} \cdot [(2 \cdot a + q) \cdot (2 \cdot a + l)^3 - q \cdot l^3]$ [mm ⁴]		2,73E+07	
$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{M_{Ed,y(x)}}{I_y} \cdot \frac{2 \cdot a + l}{2}$ [MPa]		76,9	
$\tau_{ } = \frac{V_{Ed,y(x)}}{A_{v,y(x)}}$ [MPa]		65,9	
		$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{ }^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$ [MPa]	
		191,6	≤ 453,3
			42%
			VYHOVUJE

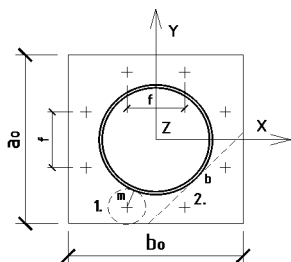
Obr. 7



E) POSOUZENÍ OTLAČENÍ BETONU

$f_{c,d} = \frac{f_{c,k}}{\gamma_c} [MPa]$	13,33		Obr. 7
$A_{cc} = (v_1 - v_2) \cdot l [mm^2]$	24000	$\sigma_b [MPa]$	$\leq f_{c,d} [MPa]$
$\sigma_b = \frac{V_{Ed,max}}{A_{cc}} [MPa]$	9,66	9,66	$\leq 13,33$
			72%
			VYHOVUJE

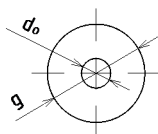
Obr. 8



F) POSOUZENÍ PATNÍHO PLECHU

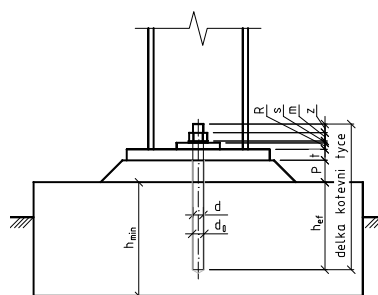
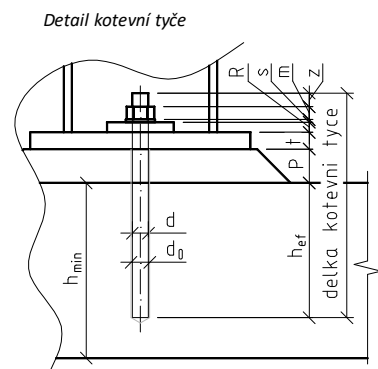
1. porušení: $L_{eff1} [m] = \pi m$	0,195	$m [m]$	0,062	Obr. 8	
2. porušení: $L_{eff2} [m] = b/2$	0,223				
$L_{eff} = \min(L_{eff1}; L_{eff2})$	0,195				
$F_{tRd} [kN]$	≤				$F_{T1} [kN]$
$m_{pl} = 0,25 \cdot t_p^2 \cdot f_y / \gamma_{Mo}$	108,7				224,73
$F_{T1} = 2 \cdot L_{eff} \cdot m_{pl} / m [kN]$	683,10			33%	
				VYHOVUJE	

Obr. 9

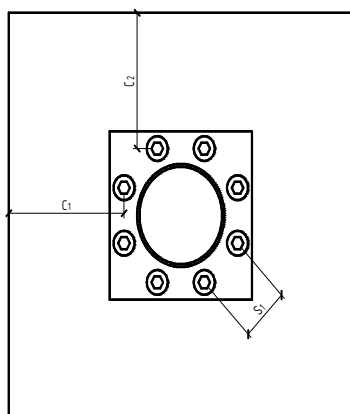


G) PODLOŽKA POD ŠROUBY

DOPORUČENÉ $t_1 [mm]$	35	$g [mm]$	94,5	Obr. 9
NAVRŽENÉ $t_1 [mm]$	30	$g [mm]$	85	



	POŽADOVANÉ HODNOTY	MINIMÁLNÍ HODNOTY
c ₁ [mm]	100	135
c ₂ [mm]	100	135
s [mm]	262	135



POSOUZENÍ NAVRŽENÉ CHEMICKÉ KOTVY GEBOFIX PRO VE-SF

POLOHA V KONSTRUKCI		Sloup B4			
KOMBINACE		C1/21			
SÍLY V KOTEVNÍM ŠROUBU					
	N _{Ed} [kN]	V _{y,Ed} [kN]	V _{z,Ed} [kN]	V _{Ed} [kN]	
1. kom N _{Ed,max} [kN]	101,4	0,1	0,8	0,8	
2. kom V _{y,Ed,max} [kN]	-264,3	22,9	2,1	23,0	
3. kom V _{z,Ed,max} [kN]	-307,4	1,0	25,1	25,1	
KOTEVNÍ TYČ					
d [mm] = M	27	h _{ef} [mm]	N _{Rk} [mm]	V _{Rk} [mm]	
MINIMÁLNÍ HODNOTY		108	68,7	115,0	
POŽADOVANÉ HODNOTY		540	230,0	115,0	
MAXIMÁLNÍ HODNOTY		540	230,0	115,0	
POSOUZENÍ					
A) ÚNOSNOST V TAHU					
γ _{Mc,Mp} = 1,8		N _{Ed} [kN]	≤	N _{Rd} [kN]	VYHOVUJE
N _{Rd} = $\frac{N_{Rk}}{\gamma_{Mc,Mp}}$ [kN]	127,8	1. kom 101,4	≤	127,8	✓ 79%
		2. kom -264,3	≤	127,8	✓ -207%
		3. kom -307,4	≤	127,8	✓ -241%
B) ÚNOSNOST VE STŘIHU					
γ _{Ms,V} = 1,25		V _{Ed} [kN]	≤	V _{Rd} [kN]	VYHOVUJE
V _{Rd} = $\frac{V_{Rk}}{\gamma_{Ms,V}}$ [kN]	92,0	1. kom 0,8	≤	115,0	✓ 1%
		2. kom 23,0	≤	115,0	✓ 20%
		3. kom 25,1	≤	115,0	✓ 22%
C) ÚNOSNOST KOMBINACE STŘIHU A TAHU					
$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} + \frac{N_{Ed}}{1,4 \cdot N_{Rd}} \leq 1,0$					VYHOVUJE
1. kom	0,01	+	0,57	= 0,57 ≤ 1,0	✓ 57%
2. kom	0,20	+	-1,48	= -1,28 ≤ 1,0	✓ -128%
3. kom	0,22	+	-1,72	= -1,50 ≤ 1,0	✓ -150%
DÉLKA KOTEVNÍ TYČE					
Přesah závitu přes matici		z [mm]	=	20	doporuč. 20 mm
Výška matice		m [mm]	=	22,0	DIN 934 .8 Tzn
Tloušťka podložky		s [mm]	=	4,0	DIN 125 Tzn
Roznášecí podložka		R [mm]	=	30	
Tloušťka kotevní desky		t [mm]	=	35	
Výška podlití betonu		P [mm]	=	50	
Efektivní hloubka		h _{ef} [mm]	=	540	
suma		[mm]	=	701	
VRTÁNÍ	průměr otvoru v betonu	d ₀ [mm]	=	32	
	kotevní deska	d ₀ + 1	=	33	doporuč. (d ₀ +1)
Minimální výška betonového základu		h _{min} [mm]	=	605	
NAVRŽENO					
KOTEVNÍ TYČ			TMEL		
M 27	8.8 Tzn DIN 975	705 mm	$V = \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \cdot h_{eff}$ [ml] 289		

POZNÁMKA: Minimální třída betonu C20/25 (dle EN206-1)

Je navržena vysoce kvalitní chemická kotva zaručující vysoký výkon dle dokumentu od výrobce.

webová adresa: https://eshop.atilastyl.cz/produkty/technicke_listy/technicky_list_KT-1272010151.PDF

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl návrh nosné ocelové konstrukce heliportu, který klade důraz na jednoduchost, estetičnost, subtilnost, hospodárnost, bezpečnost a v neposlední řadě provozuschopnost stavby dle platných evropských norem.

Dílčími úkoly zadání práce bylo vypracovat statický výpočet ověřený dynamickou a stabilitní analýzou zohledňující spolupůsobení spřažené železobetonové desky, vypracovat technickou zprávu a výrobní dokumentaci nosné části konstrukce.

První kapitola poskytuje základní informace o heliportu a je zde znázorněn jeho konstrukční systém. Cílem druhé kapitoly bylo určit přibližnou tloušťku železobetonové desky a ve výpočetním modelu zohlednit absenci železobetonové desky z hlediska tuhosti. Kapitola třetí obsahuje stanovení zatížení, kterými jsou vlastní tíha, ostatní stálé zatížení, užité zatížení, zatížení větrem a vrtulníkem. Stěžejním bodem bylo určit zatížení větrem, jenž má na konstrukci společně s vrtulníkem největší vliv. Konstrukce heliportu nemá trvalé stěny, proto je dle normy ČSN EN 1991-1-4 považována za přístřešek. Výpočet zohledňuje i Karmánovo kmitání. Ve čtvrté kapitole byla konstrukce podrobena dynamickému výpočtu z důvodu posouzení nežádoucího kmitání. Byla stanovena odezva konstrukce na zatížení od větru a na náraz vrtulníku. Na základě vlastních frekvencí a součinitelů participace bylo vyhodnoceno, jestli může konstrukce rezonovat či nikoli. V šesté a sedmé kapitole byly vytvořeny zatěžovací stavy a kombinace pro posouzení nespřažené i spřažené konstrukce. Výstupem softwaru SCIA Engineer jsou vnitřní síly, na které se konstrukce dimenzuje. Úkolem osmé kapitoly bylo pomocí stabilitní analýzy stanovit kritický násobek zatížení, navýšit účinky zatížení a stanovit vzpěrné délky prutů. Devátá kapitola obsahuje posouzení vybraných prutů na mezní stav únosnosti s ohledem na provozní a montážní stav. Jedenáctá kapitola je věnována výpočtům spojů. V poslední dvanácté kapitole je proveden výpočet kotvení s posouzením navržených chemických kotec GEBOFIX PRO VE-SF.

Závěrem lze konstatovat, že všechny cíle práce byly splněny. Funkčnost a požadované vlastnosti navržené konstrukce heliportu byly ověřeny provedením výpočtů a konstrukční řešení zahrnuto ve výkresové dokumentaci. Řešením diplomové práce si její autor rozšířil a zdokonalil své znalosti a dovednosti v oblasti návrhu ocelových konstrukcí a současně vznikl ucelený návrh heliportu, který je možné využít při jeho případné skutečné realizaci.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Normy

- [1] ČSN EN 1990. Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, březen 2004. 76 s.
- [2] ČSN EN 1991-1-1. Eurokód 1: *Zatížení – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, březen 2004. 44 s.
- [3] ČSN EN 1991-1-4. Eurokód 1: *Zatížení – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, duben 2007. 124 s.
- [4] ČSN EN 1993-1-1. Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2006. 96 s.
- [5] ČSN EN 1993-1-8. Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2006. 128 s.
- [6] ČSN EN 1994-1-1. Eurokód 4: *Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2006. 102 s.
- [7] ČSN EN 1992-1-1. Eurokód 2: *Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, listopad 2006. 214 s.
- [8] ČSN EN 1991-1-7. Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2007. 64 s.
- [9] ČSN 01 3483. *Výkresy stavebních konstrukcí. Výkresy kovových konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, červen 1986. 44 s.

Literatura

- [10] HOLICKÝ, M., MARKOVÁ, J., SÝKORA, M. *Zatížení stavebních konstrukcí: Příručka k ČSN EN 1991*. 1. Vydání. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2010. 132 s. ISBN 978-80-87093-89-4.
- [11] PIRNER, M., FISCHER, O. *Zatížení staveb větrem*, 1. Vydání. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2003. 256 s. ISBN 80-86769-10-0.
- [12] BŘEZINA, V. *Vzpěrná únosnost kovových prutů a nosníků*, 1. Vydání. Praha: Československá akademie věd 1962. 384 s. 21-044-62.
- [13] PIRNER, M., FISCHER, O. *Dynamika ve stavební praxi*, 1. Vydání. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2010. 312 s. ISBN 978-80-87438-18-3.
- [14] ŽÁK, J., PĚNČÍK, J. *Stavební mechanika*, 1. Vydání. Antikva, květen 2005. 358 s. ISBN 80-239-4965-9.
- [15] VRATNÝ, T., WALD, F. *Ocelové konstrukce: tabulky*, 1. Vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. 53 s. ISBN 80-010-3140-3.
- [16] WALD, F. *Odpovědi na otázky k navrhování styčníků ocelových konstrukcí podle evropských norem*, 1. Vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. 125 s. ISBN 80-010-2753-8.
- [17] STUDNIČKA, J. *Ocelobetonové konstrukce 20*, 2. Vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, červenec 2005. 148 s. ISBN 80-01-02598-5.
- [18] PIRNER, M. *Dynamika stavebních konstrukcí*, 1. Vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1989. 148 s. ISBN 80-03-00000-9.
- [19] WALD, F. *Přípoje ocelových konstrukcí na betonové*, 1. Vydání. Praha: České vysoké učení technické, 2014. 170 s. ISBN 978-80-01-05429-1.
- [20] MAKOVÍČKA, D. – MAKOVÍČKA, D., *Zatížení budovy při přistání vrtulníku na střešní konstrukci heliportu*, STAVEBNÍ OBZOR, ročník 21, číslo 02/2013, 2014. 4 s.

Internetové zdroje

- [21] FERONA, a.s *Ferona, a.s – Velkoobchod hutním materiálem* [online],
[cit. 2014-05-23], přístup z internetu: <http://www.ferona.cz/cze/>.
- [22] WALD, F., Eurocodes - *Design of Steel Buildings with worked examples* [online], 2014-10-16, [cit. 2017-01-03], přístup z internetu: http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/2014_07_WS_Steel/presentations/06_Eurocodes_Steel_Workshop_WALD.pdf.
- [23] Letecká informační služba – *Řízení letového provozu České republiky* [online],
[cit. 2016-12-10], přístup z internetu: <http://lis.rlp.cz/?lang=cz>.
- [24] KONSTRUKCE – *Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství – Nový heliport Krajské nemocnice v Liberci* [online], 15. ročník 2016-05, [cit. 2016-11-27], přístup z internetu: <http://www.konstrukce.cz/archiv/obsah/cislo/231/>